

## 第3章 日本の知見をベースとした技術基準の策定

### 3.1 活動の背景と概要

#### (1) 背景

##### ① フィリピンにおいて安全なコンクリートブロック造を普及するための種々のアプローチ

これまでのフィリピンの建築物に関連する種々の法令、制度などの調査や、それぞれに関係する機関との意見交換により、安全なコンクリートブロック造を普及するためのアプローチとして、以下のようなアプローチの選択肢が確認できた。

##### ア フィリピンの構造基準としてのコンクリートブロック造の技術基準の作成

フィリピンでは、建築基準(NBCP National Building Code of the Philippines 1977 年大統領令。詳細は、日本建築学会 2012 年度大会梗概「開発途上国における建築許可制度の枠組み及び運用実態に関する調査研究 その 2 フィリピン(1)」参照。)により、構造基準、防火基準などの技術基準に適合した建設を行うことを求める建築規制制度が運用されている。建築物の構造安全性については、フィリピン構造基準(NSCP National Structural Code of the Philippines)の第 1 巻が整備されている。これは主に大規模建築物を対象としており、小規模住宅については、今後作成される第 3 巻によることとされている(構造基準の改訂の要点説明による。詳細は、日本建築学会 2012 年度大会梗概「開発途上国における建築許可制度の枠組み及び運用実態に関する調査研究 その 2 フィリピン(1)」参照。)が、第 3 巻は今だに作成されていない。また、非構造壁に関する基準も未整備の状態となっている。即ち、現状では、地震等による甚大な被害の主要な原因となっているコンクリートブロック造の低層の小規模住宅や非構造壁についての技術基準が未整備の状態となっている。こうした状況下、現在未整備のこれらの技術基準を作成することにより、現行の建築規制制度の枠組みの下で、基準への適合が図られることが期待できる。

##### イ 公共建築物を対象とした標準仕様書などの技術基準の作成

フィリピンにおける政府による公共建築物の多くが、公共事業道路省により設計、建設されている(一部、他省によるものがある)。その場合、同省は標準仕様書(Standard Specifications)に従い、設計等を行う。現行の標準仕様書におけるブロック工事にかかる規定は簡易なものに留まっている(詳細は、日本建築学会 2020 年度大会梗概「フィリピンにおける安全なブロック造の普及に関する調査研究 その 3 フィリピンのブロック造にかかる基規準・住宅革新的技術認証制度」参照)。この規定を充実したものとすることにより、公共建築物におけるブロック造の安全性の向上を実現することが期待できる。このアプローチの直接的な制度上の対象建築物は公共建物であるが、こうした公共建築物についての技術基準類が、民間の建物に準用され、社会全体に広がっていくというプロセスは、日本を含め多くの国で見られる流れである。

##### ウ 低所得層住宅用の工法の認証の取得

フィリピンにおいて低所得層向けのローコスト住宅の供給を、国家住宅庁 (NHA National Housing Authority) が行っている。その供給をおこなう場合、民間からの材料、工法についての技術提案を認証することにより、同庁の住宅建設プロジェクトにおいて活用する制度 (Accreditation of Innovative Technologies for Housing) が整備されている (2019 年度本プロジェクト成果報告書第5章 5.3「NHA/DPWH との安全なコンクリートブロック造に関する検討会の概要」、同章参考 5.4、5.5、5.6 参照。)。この制度の直接的な対象は、国家住宅庁により供給される住宅であるが、民間による建設にも適用されるとのことであり、この方法により安全なブロック造の普及が期待できる。因みに、フィリピンにおいて十分な技術を保有しているコンクリートブロックのメーカーであるジャックビルト社とスマートメーソンリー社は、この認証を取得している (2019 年度本プロジェクト成果報告書第5章 参考 5.5、5.6 参照。)

エ コンクリートブロックの製品規格の実効的な施行の支援

2019 年のミンダナオ島群発地震により、コンクリートブロックの脆弱性が改めて露呈したことを契機に、コンクリートブロックの製品規格の改訂が行われた (2019 年度本プロジェクト成果報告書第5章 5.6 「通商産業省との打ち合わせの概要」参照)。制度を所管する通商産業省製品規格局 (DTI/BPS (Department of Trade and Industry, Bureau of Product Standard)) では、この規格の遵守をメーカーに強制するなどの方法により品質の改善を図ることとしている (2022 年 2 月時点では、強制化の措置は実現していない)。フィリピンにおけるコンクリートブロック造の脆弱性の主要な原因の一つがブロック自体の低品質にあることから、このアプローチにより一定の改善が実現することが期待できる。

オ ブロック工事を行う職人の技能の向上

建物被害調査、施工現場調査などから、コンクリートブロック造の脆弱性の主要な原因の一つが不適切な施工であることが確認されている。フィリピンでは、職業訓練を担当する技術教育・技能開発機構 (TESDA Technical Education and Skills Development Authority <https://www.tesda.gov.ph/>) が、種々の職業訓練を行っている。この中には、コンクリートブロック造のコースも含まれているが、十分な内容になっていないとのことである (フィリピンのブロックメーカーからのヒアリング)。この訓練の内容の改善を図ることにより、職人の技能の向上を図り、コンクリートブロック造の安全性向上に一定の改善を実現することが期待できる。因みに、日本では、各種の職種について同様の目的の職業訓練の制度があり、技能検定の制度 (技能士制度) が機能している (令和 4 年 2 月 1 日現在、131 職種)。その中の建設関係の職種として、「ブロック建築」が対象となっている。

カ 建物建設の施主の安全性に対する意識の向上

これまでの調査により、フィリピンにも、一定レベルの技術力を有するメーカーが複数存在していることが確認できている。彼らによれば、良質なブロックを製造したいが、施

主から、低品質でよいので低価格で作るように求められ、不本意ながらそれに応じているとのことである。建物建設の施主の、建物の安全性についての意識を高めることにより、このような状態を改善し、さらに適正な品質のブロックの利用を高めることで、安全なコンクリートブロック造の普及への貢献が期待できる。これまでの活動の中でも、フィリピン商工会議所(PCCI Philippine Chamber of Commerce and Industry)との協議の中で、この必要性の指摘があり、そのために同会議所の全国 134 支所を活用しての広報活動やマスメディアとの連携の提案があった(2019 年度本プロジェクト成果報告書第5章 5.4「PCCI 建設部会メンバーとの意見交換会」参照)。

## ② 構造基準の作成の経緯

前節のとおり、安全なコンクリートブロック造技術の普及のアプローチには種々のものがある。このうち、本年度は、前節アの構造基準の策定に取り組んだ。その背景は、以下のとおり。

### ア 建築規制制度と構造基準の社会的な定着

建築規制制度は、1977 年大統領令のフィリピン建築基準(NSCP)に基づいて実施されている。その構造についての技術基準であるフィリピン構造基準(NSCP)は、1972 年に作成されている。その後、改訂を重ねて、2015 年には第 7 版が出版されており、建築基準を主管する公共事業道路省により参照すべき基準として指定され、多くの技術者により実務において参照されている。こうした建築規制制度により技術基準が社会的に普及するという状況が、フィリピンでは定着しており、フィリピンの建物全般の改善を図るアプローチとして有効と考えられる。

### イ 日本側参加者の知見

日本側参加者の多くは、建築物の技術基準の作成、施行などに経験、知識を有している。また、建築規制制度の経験を有する者も参画しており、構造基準策定のアプローチは日本側参加者が持っている知見に適合したものである。

### ウ フィリピン側カウンターパートの意欲と日本側との信頼関係

フィリピンの構造基準は、民間の専門家の団体であるフィリピン構造技術者協会(ASEP Association of Structural Engineers of the Philippines)が作成し、それを、建築基準を主管する公共事業道路省が指定するという制度体系となっている。同協会は、本プロジェクトに大変意欲的に取り組んでいただいている。例えば、2019 年度に実施した、日本への招へいに際しては、予算の制約から、行政機関、関係機関、指導的なメーカーなどの関係機関・グループなどから各 1 名(合計で 7 名)にせざるを得なかった。この際、同協会では、基準作成を担当する幹部会員 2 名を追加(合計 3 名が参加)で自費参加させるなど、積極的な取り組みを行っている。

また、本プロジェクトの主要メンバーは、これまで日本建築学会国際委員会地震防災小委員会において、海外の建築規制、建築基準などについての調査研究に取り組んでいる。その活動の中で、フィリピンは国際的に広く参照されているアメリカの基準準拠

の構造基準であることもあり、主要な調査研究の対象となっていた。このため、2010年の同小委員会設置後間もない2011年12月に、同協会への最初のヒアリングを行って以来、フィリピン構造基準についての質疑応答、日比のそれぞれの構造基準に従った設計事例を作成してもらい、その比較と分析、その結果の国際会議での共同発表、幹部メンバーの日本への招へい(JICAプロジェクトの一環)など、長年にわたり協力活動を積み重ねてきており、相互の信頼関係ができたことも基盤となっている。

#### エ 2020年度におけるオンライン会議による検討と合意

フィリピン構造基準作成機関であるフィリピン構造技術者協会は、2018年度の本プロジェクト開始直後から、フィリピン側の主要な機関の一つとしてヒアリング、意見交換などを重ねてきた。新型コロナウイルス感染拡大により現地調査、招へいが困難となった2020年度には、同協会と3回のオンライン会議を開催し、

- ・日本側で考えている補強コンクリートブロック造の技術基準の骨子の説明(フィリピン構造基準の想定している地震荷重の要求を満たしていることを含む)
- ・フィリピンで基準を普及させるための種々の選択肢についての意見交換
- ・上記の選択肢のうち、フィリピン構造技術者協会と共同で技術基準を作成することに基本的な合意

を行い、その結果を、フィリピン構造技術者協会と北海道建築技術協会との合意書(Memorandum of Agreement 2021年6月1日付け)にまとめた。

## (2) 検討活動の概要

前節の合意書に基づき、2021年度の活動の一つとして、オンラインの検討会を、下記のとおり開催した。(各回の参加者リスト及び議事録を添付)

- ① 第1回:2021年8月23日
- ② 第2回:同9月21日
- ③ 第3回:同10月18日
- ④ 第4回:同11月15日
- ⑤ 第5回:同12月13日
- ⑥ 第6回:2022年1月17日
- ⑦ 第7回:同2月7日
- ⑧ 第8回:同2月28日(招へい時に予定していた構造実験の視察の代替として、実験の状況のビデオによる説明)

また、その成果を、フィリピン構造技術者協会会員、建築行政関係者、一般技術者に広く理解してもらうとともに、今後の進め方を検討するためのワークショップを、2022年2月16日にオンラインで開催した。詳細は、第7章7.4 成果報告会参照。

\*参考1 オンライン検討会の参加者リスト

\*参考2 オンライン検討会の議事録

(檜府龍雄)

### 3.2 改善 CB 造とその技術基準策定の方針

(一社)北海道建築技術協会では 2018 年度後期から国交省の補助金を受け「フィリピンにおける安全なブロック造技術の普及」に関するプロジェクトを進めている。その中で、改善補強コンクリートブロック(CB)造について以下のようなことを考えている。

#### (1) 北海道建築技術協会報告書の提案についての再検討

(社)北海道建築技術協会の 2007 年の報告書\*1 によると、「現状の組積造における課題に対する解決方法の提案」について次のような指摘がある。

\*1(社)北海道建築技術協会「新北方型 RM 住宅研究委員会報告書」2007.3

- ① 構工法の改良
  - ア 技能依存の減少
  - イ 現場 RC の減少
- ② 施工性の改善
  - ウ 階高充填
  - エ 開口部の施工方法
- ③ ユニットの改良
  - オ ユニットの軽量化
  - カ ユニットの意匠性向上
- ④ イニシャルコストの低減とライフサイクルコスト
  - キ イニシャルコストの低減
  - ク ライフサイクルコストの考え方の浸透
  - ケ 販売対象とイニシャルコスト
- ⑤ フレキシブルな構造規準
  - コ 仕様規定から根拠を規定した計算規準
- ⑥ ユーザーへの組積造の浸透
  - サ 組積造がユーザーの選択肢となるような対策
  - シ ユーザーの要望に応じたメニューの充実

CB 造の改善工法の提案に当たって、上記の 1)～12)に対する解決策を次のように考えている。

#### ア 技能依存の減少

技能を有する多数の人材を将来的に確保することは難しいため、熟練工でなくとも CB を積むことができる工法が望ましい。その解決策の一つが**空積み工法**である。CB ユニットの寸法精度はかなり高いので、(目地モルタル無しで)単に積み重ねても面内の傾斜はほとんどなく、面外の傾斜も一般的には極わずかで、CB ユニットの積み重ねていく段階で面外に傾斜が生じた場合は、楔などを用いて適宜修正するとよい(図 3.2.1)。鉄筋は工場でユニット寸法に合わせた格子状に加工し、それを現場に搬入し、複数の格子を組み合わせて、それにユニット



筋が入ったものの必要性が強調され過ぎているようである。しかし、耐力壁に作用する鉛直荷重を考慮すると、壁端部に大きな引張力が生じないように設計が可能である(引張力が生じる場合は耐力壁が負担するせん断力を低減させる)ため、壁端部の鉄筋に過大な期待をしない設計を行うことが可能となる。



写真 3.2.1 型枠を減少させることが重要(CB 造の工事現場)

#### ウ 階高充填

流動性のあるコンクリートまたはモルタルを用いる階高充填では下向きの空洞にも、閉じ込められている空気を圧縮しグラウトされるので、階高充填で充填されない部分が生じる心配はほとんどなく、これは北海道で行われた 1994 年と 2020 年の施工実験(\*4、\*5、写真 3.2.2)で実証されている。階高充填の際に測定された側圧は最大  $400\text{gr}/\text{cm}^2$  となっている\*5。側圧による端部 CB の移動を防ぐために要する力は  $(10 \times 20 \times 400\text{gr} = 80\text{kgr})$   $800\text{N}$  程度となり、目地モルタルの(せん断)強度を  $0.25\text{MPa}$  とすると目地の面積は  $3,200\text{ mm}^2 = 32\text{cm}^2$  となる。図 3.2.2 の外目地の面積は  $0.6 \times 2 \times 39 = 46.8\text{cm}^2$  となる。目地からのグラウトの漏れを防ぐため、目地には外側からモルタルを塗り込むので、目地モルタルが硬化した場合は、これで移動を防ぐことができる。なお、グラウトを充填しない部分を確保するにはグラウト浸入を防ぐ手立てが必要である。このため、全充填用のユニット(図 3.2.2)を用い、耐力壁の許容耐力を増大させ(2 倍以上が可能)、必要壁量を減らし、設計の自由度を高めることも考えられる。

\*4 北海道寒地住宅都市研究所、(社)北海道建材ブロック協会、北海道農材工業(株)「ブロック工事におけるグラウトの階高充填工法の開発」平成 6(1994)年 3 月

\*5 北海道立寒地住宅都市研究所、(社)北海道建材ブロック協会、北海道農材工業(株)「ブロック工事におけるグラウトの階高充填工法の開発」平成 7(1995)年 3 月



写真 3.2.2 階高充填の施工試験 (2020 年 11 月)

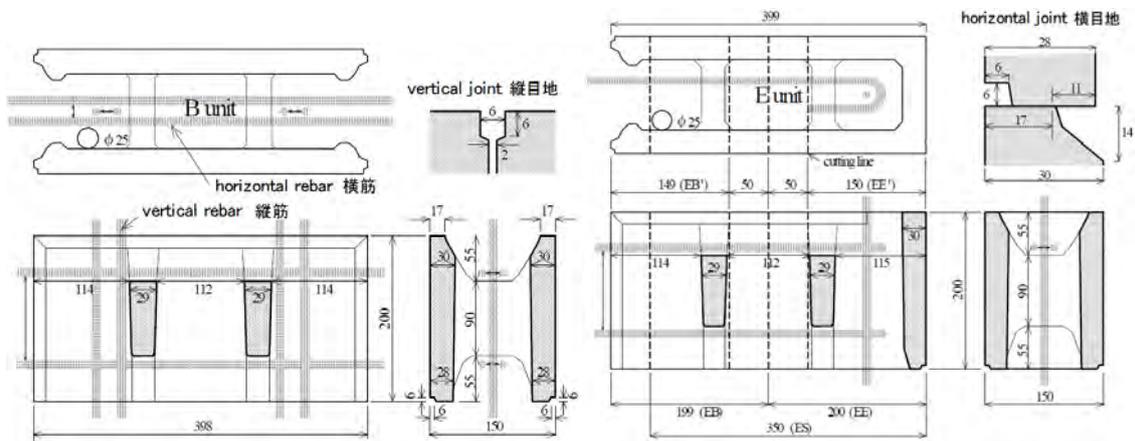


図 3.2.2 全充填 CB40×20 型 B ユニット(左)と E ユニット(右)

### エ 開口部の施工方法

ほとんどの部分には基本ユニットを用いるが、開口部の側部には端部ユニットを用い、(ユニットの種類を少なくするため)腰壁・垂壁には基本ユニットを用いる。ただし、開口部の上面・下面には型枠を使用する必要があるため、腰壁・垂壁を用いない設計を行うか、腰壁・垂壁用ユニットの採用も考えられる。

### オ ユニットの軽量化

ユニットの軽量化は作業性の向上に寄与する。CB ユニットの軽量化にはフェイスシェルやウェブの厚み(20mm 程度でも製造可能と思われる)の減少、ユニットの寸法変更が考えられる。ユニット寸法を 40×20cm から 45×15cm にするとユニットは若干小さくなり、軽量化となる(図 3.2.3)。

### カ CBユニットの意匠性の向上

報告書\*1によると「現状 CB ユニットの形状はプロポーションが美しくなく、日本人の潜在的な美意識に適合していないとの指摘もある」ので、意匠性を向上させるため横長のユニットを採用する(ユニット寸法 40×20cm の縦横比は 1:2、45×15cm は 1:3となる、図 3.2.3)ことが考えられる。また、芋目地ばかりでなく破れ目地も(縦筋の上端までユニットを持ち上げることなく)容易に可能となるユニットによって意匠性を向上させることができる。

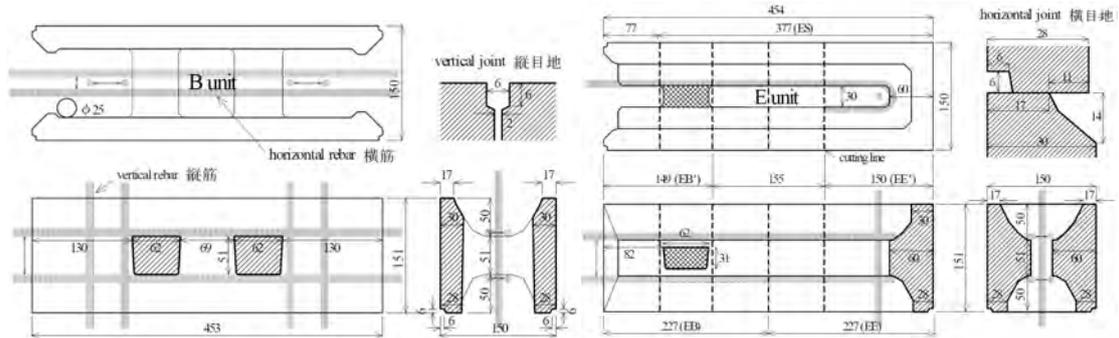
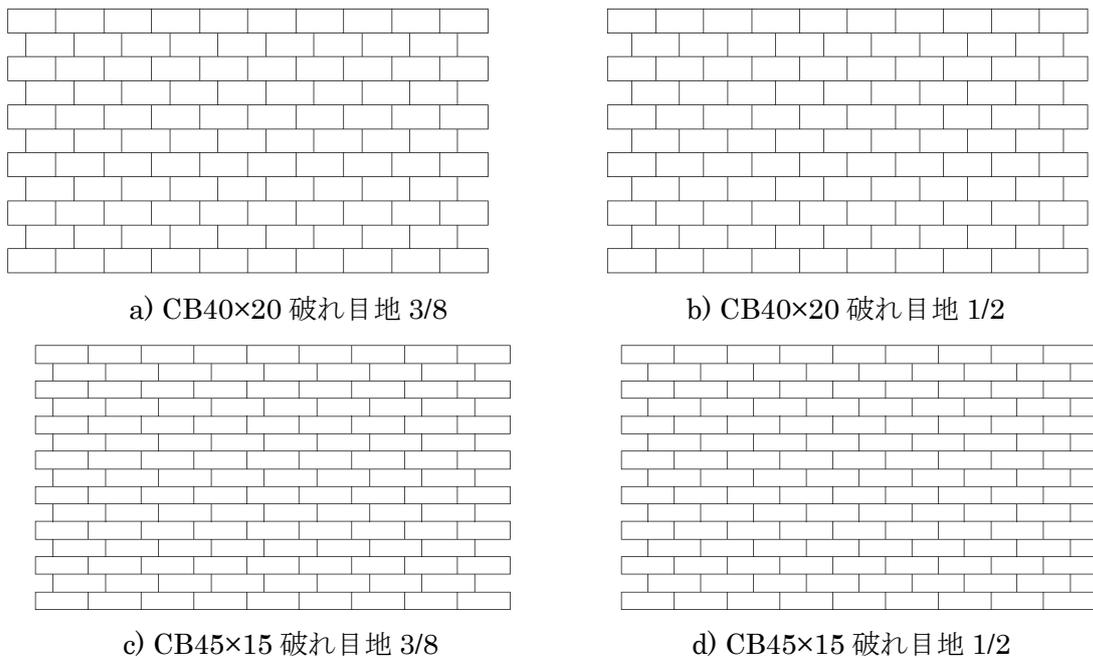


図 3.2.3 全充填 CB45×15 型 B ユニット(左)と E ユニット(右)

### キ 建物全体の意匠性の向上

ユニット長さの 1/2 ずれる破れ目地が可能な CB ユニットを用いると、任意のずれ(現実的にはユニットの厚み 15cm)の破れ目地が可能となり、その他の多彩な目地パターンも可能となる(図 3.2.4)。



a) CB40×20 破れ目地 3/8

b) CB40×20 破れ目地 1/2

c) CB45×15 破れ目地 3/8

d) CB45×15 破れ目地 1/2

図 3.2.4 種々の破れ目地(任意の破れ目地が可能)

#### ク インシヤルコストの低減

技能労働者の減少に伴い技能をあまり必要としない工法を目指す。具体的には、空積み・階高充填による施工の合理化、臥梁の省略・簡素化、壁交差部・端部詳細の簡略化などを図り、インシヤルコストを低減する。

#### ケ ライフサイクルコスト

組積造のライフサイクルコストが低くなることは既に分かっているので、それを説明する分かり易いパンフレットなどを作成し、建築関係者のみならず一般ユーザーにも理解してもらう活動を行う。

#### コ 販売対象とインシヤルコスト

コストの低減を目指す大衆向けのものと、富裕層向けの高級感を持ったものの両者を示す必要があるようである。北海道には外断熱二重壁工法の住宅があり、快適な室内空間と同時に省エネにも寄与するなどのメリットをより多くの人々に知ってもらう活動を行う。

#### サ 仕様規定から根拠を示した計算規準

仕様規定を極力少なくし、規定内容も構造計算や構造実験などで緩和できる規準とする。過去の地震被害とその原因は、1982年浦河沖地震で被害を受けたCB造建物は規準に全く合致しない構造であった。2011年東日本大震災では補強CB造に構造的な被害はほとんどない(ただし、非構造部材は大きな被害を受けている)。浪江町の住宅は屋根スラブの端部に被害が生じていたが、これは何か(例えば船のようなもの)がぶつかった際に生じたと思われる。また、津波による地盤の洗掘によって大きく傾いたCB造住宅もあった。これらの被害から補強CB造は構造的には過剰設計と思われる部分があり、構造的に緩和する余地が多くある。例えば、耐力壁短期せん断許容応力度を求める際、実験による下限値に組積係数0.7を乗じ、さらに応力集中による割増係数として壁量を1.5倍している。

#### (木造との比較)

ちなみに、1981年から用いられている新耐震設計法の木造の壁量規定は固定荷重を実状よりかなり低く見積もり(屋根荷重 $147\text{kg/m}^2$ 、床荷重 $170\text{kg/m}$ )、地震力の $1/3$ は非構造要素が負担するとの仮定で求めたものであった(2000年の施行令改正で非構造が負担することは見込まない規定となった)。更に、木造の耐力壁には壁倍率に応じ地震層せん断力が平均に作用するものとして、CB造の応力集中による割増係数1.5のような係数はない。木造の耐力壁はその水平耐力を壁倍率で表していて、壁倍率1は $200\text{kg/m}$ で最大は5となっている。CB造耐力壁(厚さ $150\text{mm}$ )で長さ1mを壁倍率で表すと耐力的には18.75となるが、床面積当たりの重量(屋根荷重 $1000\text{kg/m}^2$ 、床荷重 $1300\text{kg/m}^2$ )を比較するとCB造は

木造の約 7 倍なので、その割合で換算すると壁倍率は 2.7 となる。なお、全充填とすると耐力は 2 倍程度増えるので、必要な壁量(壁率)は 1/2 に低減でき、その際の壁倍率は 5.4 に相当する。

#### シ ューザーへの組積造の浸透

一般ユーザーが組積造(CB 造)を選択肢の一つとなるようにアピールするため、ユーザーの要望に応じたメニューを充実させる必要がある。魅力的な CB 造建物などの紹介するパンフレットを作ることも一案である。

## (2) 枠組壁(2×4)工法と CB 造のモジュールについて

枠組壁(2×4)工法を北米から導入した際には北米規準を基に告示を作成した。北米の縦枠(stud)間隔は 16 インチ(40cm)であったが、日本に導入した際には日本のモジュールも使うことになるだろうと考え、告示では縦枠間隔を 50cm 以下とした経緯がある。結果的に縦枠間隔は 450mm または 455mm となり在来の木造工法と混用することも行われているようである。このため合板や他のボード類も従来からの 3×6 尺のボード類をそのまま使うことができ、現在に至っている。

一方、CB のユニット長さ 390mm(目地を含めると 400mm、16 インチ)は北米規格のまま、日本のモジュールには合わせ難いままで現在に至っている。現在 CB 造が(沖縄を除いて)ほとんど建てられていない原因の一つにモジュールが影響していると思われる。もっとも、2011 年東日本大震災による地震動と津波を受けても構造的にはほぼ健全に残った浪江町の CB 造住宅には 45×15×15cm のユニットが使われており(写真 3.2.3)、芋目地ではなく CB ユニットの厚みの 15cm ずれる破れ目地であったので、モジュールを日本に合わせ、かつ目地パターンに変化を持たせる試みがあった。しかし、この CB 造は全国には広がらなかったようであるが、再検討する価値のある CB 造であると思っている。



写真 3.2.3(1) 東日本大震災による地震動・津波にも耐えた補強 CB 造(福島県浪江町)



写真 3.2.3(2) 東日本大震災による地震動・津波にも耐えた補強 CB 造(福島県浪江町)

### (3) CB 組積体の許容応力度

AIJ 規準\*6 では次のように CB 造の A,B,C 種の許容応力度(単位はいずれも MPa=N/mm<sup>2</sup>)を求めている。

\*6(一社)日本建築学会「壁式構造関係設計規準集・同解説(メーソソリー編)」2006.3

- 1) ユニットの規格強度  $\sigma$ (A:4、B:6、C:8)
- 2) 組積係数 0.7 を乗じて標準強度  $F'_m$ (A:2.8、B:4.2、C:5.6)
- 3) 長期許容圧縮応力度は  $F'_m$  の 1/3(A:0.93、B:1.40、C:1.86)
- 4) 長期せん断許容応力度は  $(2/7.5)\sqrt{(0.1 F'_m)}$ (A:0.14、B:0.17、C:0.20)
- 5) 短期許容圧縮応力度は長期の 2 倍(A:1.86、B:2.80、C:3.73)
- 6) 短期せん断許容応力度は長期の 1.5 倍すなわち  $(2/7.5) \times 1.5 = 1/2.5$  となるので、 $\sqrt{(0.1 F'_m)}/2.5$ (A:0.21、B:0.25、C:0.30)

以上のようになっており、他の規格強度のユニットを用いる際には、上記のように規格強度を基に同様の計算行ってよいと考えられる。なお、提案している表 3.2.1 の必要壁率(X,Y 方向の耐力壁の水平断面積の和の床面積に対する割合)はせん断許容応力度を 0.25(MPa=N/mm<sup>2</sup>)としベースシヤ係数 0.2 で行っている。また、必要壁率には応力集中による割増係数 1.5 倍が含まれている。

表 3.2.1:各階の必要壁率

平屋の 建築物	2 階建の建築物		3 階建の建築物		
	1 階	2 階	1 階	2 階	3 階
1.20%	2.76%	1.46%	4.32%	3.20%	1.70%

### (4) フィリピンの規準による規定の検討

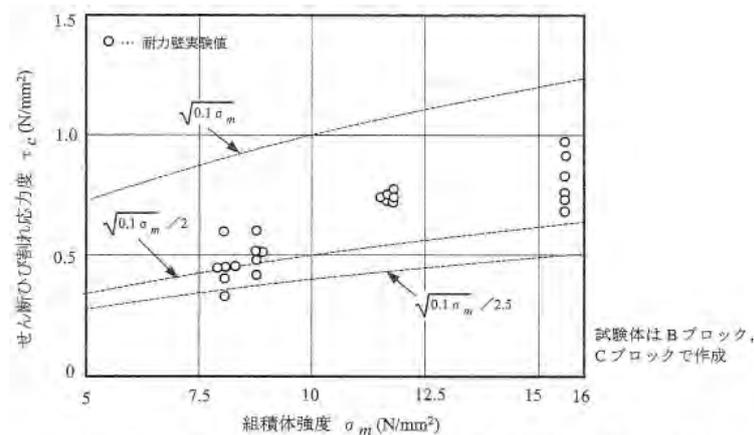
フィリピン規定(NSCP)の(208-9)式によると、低層建築物のベースシヤ  $V$ は次式で与えられる。

$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} W \quad (3.2.1)$$

上式を  $W$  で除すとベースシヤ係数  $C_B$  となり、 $C_a=0.44N_a$ 、 $N_a$  は断層近傍係数で(断層までの距離が 10km 以上の場合) 1.0、重要度係数  $I$  は通常用途の場合 1.0、 $R$  ファクターは組積耐力壁構造の場合 4.5 なので、 $C_B$  は次のようになる。

$$C_B = \frac{2.5 \times 0.44 \times 1.0 \times 1.0}{4.5} = 0.244 \quad (3.2.2)$$

よって、フィリピンの耐震基準によるとベースシヤ係数は 0.244 となるが、これを用いて強度設計を行う。日本ではベースシヤ係数 0.2 で短期許容設計を行っており、その際に AIJ 規準ではせん断許容応力度をひび割れ強度のほぼ下限値を示す図 3.2.5 の 1 番下の点線としている。強度設計で行う場合には、許容応力度をこれより少し割り増しても構わないと考えられる。米国の基準では荷重係数を 1.4 として(許容応力設計から)強度設計に移行した経緯があり、その程度の割り増しも考えられるが、ひび割れ強度の下限値に近い(図 3.2.5 の下から 2 番目の点線)を参考に、強度設計に用いるせん断許容応力度を  $\sqrt{(0.1 F'_m)/2}$  (短期許容せん断応力度の 1.25 倍)としても良いであろう。このように考えると日本のベースシヤ係数 0.2 はフィリピンの 0.25 に相当する。この結果から、地震断層から 10km 以遠の全区域で提案している壁率はフィリピン規準を満足する。なお、上式で  $N_a=1.0$  としたが、既知の地震断層が 5km 以上の場合には  $N_a=1.2$  となるので、地震断層から 10km 以内では断層近傍係数を乗じて表 3.2.1 の必要壁率を増加させる必要がある。



解説図 6.2 補強ブロック造耐力壁のせん断ひび割れ応力度<sup>6.3)~6.5)</sup>

図 3.2.5 補強 CB 造耐力壁のせん断応力度

(石山祐二)

# Background and Policy of the RCHB Guideline based on Japanese Experience

Yuji Ishiyama\*

\* Professor Emeritus of Hokkaido University, Executive Director of NewsT Reserch Lab. Co.Ltd.

## 1 Introduction

Concrete hollow blocks (CHB) are widely used in the Philippines for low-rise buildings and for non-structural walls. Most of them are manufactured by small-scale factories with little quality control, and the buildings of CHB construction are often damaged by natural disasters such as earthquakes and typhoons. The buildings of CHB construction in Japan, on the other hand, are well reinforced and have survived many severe earthquakes, tsunamis (Fig.1) and typhoons. They are also fire-resistant.



Figure 1: CHB house that survived 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami

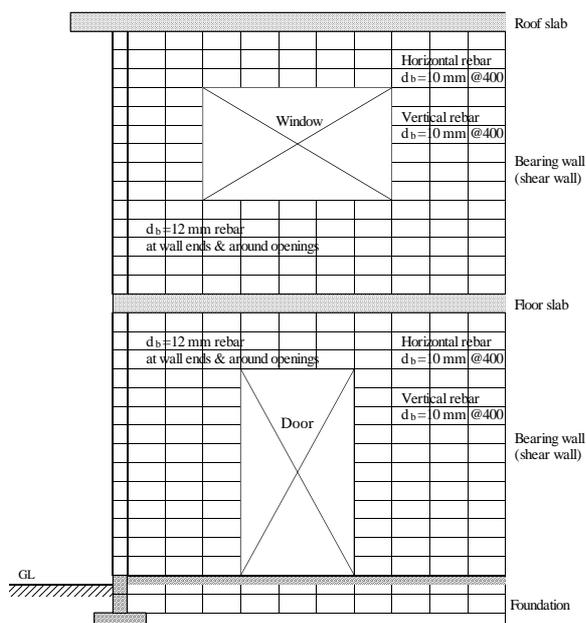


Figure 2: Improved CHB construction

In order to introduce Reinforced CHB (RCHB) construction (Fig.2) to the Philippines, Hokkaido Building Engineering Association (HoBEA) started the project in 2018 that has been supported and financed by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) of the Japanese Government. The RCHB construction to be proposed is not a copy of Japanese construction, but it is the improved one with new concepts so that it would be accepted in the Philippines.

The draft of the “Guideline for the Engineered RCHB Construction in the Philippines” has been prepared in cooperation with Association of Structural Engineers of the Philippines (ASEP) and HoBEA. This report is to explain the concept and background of the guideline. It also confirms the structural capacity of RCHB construction that includes new practice, considering out-of-plane and in-plane capacity of RCHB bearing walls, etc.

## 2 Structural Capacity of RCHB

### 2.1 Vertical load bearing capacity

Basically RCHB construction requires no columns. Therefore, the vertical load capacity of bearing walls is one of the most important issues.

Buckling load of a height  $h$  bearing wall (supported at both ends) is as follows (Fig.3).

$$P_k = \pi^2 \frac{EI}{h^2} \quad (1)$$

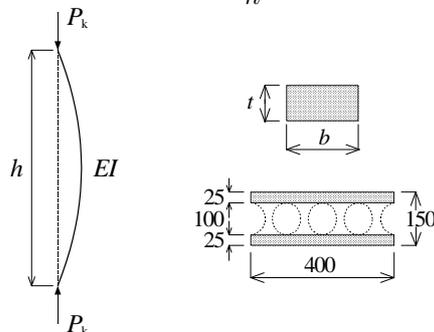


Figure 3: Buckling of CHB walls

Young’s modulus  $E$  of CHB is as follows<sup>†</sup>.

$$E = 2.1 \text{ (kN/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

<sup>†</sup> For a CHB unit of Type B of Japanese Industrial Standard (JIS),  $E_{1/3} = 500\sigma_m \text{ (N/mm}^2\text{)}$  and  $F'_m = 4.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ .

The moment of inertia  $I$  for a rectangular section is as follows.

$$I = \frac{bt^3}{12} \quad (3)$$

Nominal dimensions of a CHB unit are  $b=400(\text{mm})$  and  $t=150(\text{mm})$ . Assuming that the thickness of face shell is 25mm, the moment of inertia  $I$  of a unit for face shell only becomes as follows.

$$I = \frac{400 \times 150^3}{12} - \frac{400 \times 100^3}{12} = 112.5 \times 10^6 - 33.3 \times 10^6 \\ = 79.2 \times 10^6 (\text{mm}^4) \quad (4)$$

Therefore, the buckling load  $P_k$  for the 3000(mm) high CHB wall is given as follows.

$$P_k = 3.14^2 \frac{2.1 \times 79.2 \times 10^6}{3000^2} = 182.2 (\text{kN}) \quad (5)$$

Converting the above, we have the buckling stress  $\sigma_k$  as follows.

$$\sigma_k = \frac{182.2 \times 1000}{400 \times 150} = 3.04 (\text{N/mm}^2) \quad (6)$$

The weight of the roof floor per unit area is 10 kN/m<sup>2</sup> and the wall ratio is 0.0012 (Table 3). Since the walls are in X and Y directions, the compressive stress  $\sigma_c$  of the bearing wall becomes as follows.

$$\sigma_c = \frac{10 \times 1000/1000000}{0.012 \times 2} = 0.417 (\text{N/mm}^2) \quad (7)$$

Incidentally the long-term allowable compressive stress of CHB of Type B is 1.4 (N/mm<sup>2</sup>).

The above calculation shows that the compressive stress acting to CHB walls is much less than allowable stress or buckling stress.

Therefore, we can conclude that the bearing walls have enough capacity against vertical load (even if stress concentration may happen). As to two or three story buildings, the wall ratio becomes larger (Table 3) and the above conclusion remains the same.

## 2.2 Out-of-plane capacity of wall

### 2.2.1 Bending moment and wall support

The wall is subjected to uniform lateral loads  $w$  caused by seismic force or wind pressure (Fig.4a). The bending moment distribution differs according to the support conditions. In case both ends are fixed as Fig.4b), the maximum bending moment is  $\frac{1}{12}wh^2$  at both supports. In case the bottom is fixed and the top is simply supported, the maximum bending moment is  $\frac{1}{8}wh^2$  at the bottom as shown in Fig.4c). In case both ends are simply supported, the maximum bending moment is  $\frac{1}{8}wh^2$  at the middle as shown in Fig.4d). In case only the bottom is fixed and the top is free, the maximum moment at the bottom becomes  $\frac{1}{2}wh^2$  as shown in Fig.4e) that is extremely larger than other cases. And this is one of the reasons

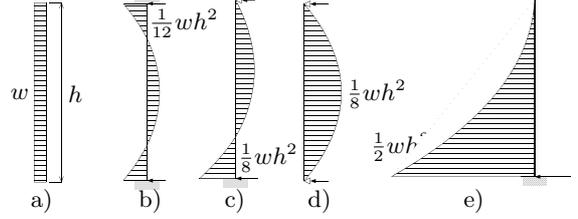


Figure 4: Out-of-plane load and bending moments

of CHB fences have been overturned during earthquakes.

Therefore, walls should be supported at both ends, and put continuous rebars to resist the bending moment of  $\frac{1}{8}wh^2$  which may occur at the midhigh of wall.

In case only the bottom of wall is fixed, the wall height should not exceed 1/2 of other walls and vertical rebars should be anchored to the supporting members or foundations that have enough capacity against overturning moment of the wall.

### 2.2.2 Vertical rebars for out-of-plane load

Referring Fig.4b)~d), the maximum bending moment to design walls that are supported at both ends is given as follows.

$$M_{\max} = \frac{wh^2}{8} \quad (8)$$

Let us assume that vertical rebars resist tensile force, CHB resists compressive force and out-of-plane seismic factor is  $k$ . Then, let the weight of CHB wall be 20 kN/m<sup>3</sup><sup>†</sup>, the thickness of the wall  $d$  m and for the width 0.4 m,  $w$  is given as follows<sup>‡</sup>.

$$w = k \times 20 \times 0.4 d = k \times 8 d (\text{kN/m}/0.4\text{m}) \quad (9)$$

Substituting the above into Eq.(8), we have

$$M_{\max} = k d h^2 \quad (10)$$

In case the vertical rebar is placed at the center of wall and its allowable tensile force is  $T$ , the allowable bending capacity  $M_a$  is given as follows<sup>§</sup>.

$$M_a = T \times \frac{d}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{8} d T = 0.375 d T \quad (11)$$

Equating Eq.(10) and Eq.(11), we have

$$k h^2 = 0.375 T \quad (12)$$

(Since the thickness  $d$  of CHB is proportional to the weight  $w$ , the thickness has no influence).

<sup>†</sup>This may be too large. But it may be reasonable including the weight of finishings.

<sup>‡</sup>Wind pressure is 2.7 kN/m<sup>2</sup> for partition walls in BSL (Building Standard Law of Japan) enforcement order. This means that 1g seismic force for CHB walls more than 0.135 m in thickness is larger than wind pressure. For low rise buildings wind pressure may be less than 2.7 kN/m<sup>2</sup>.

<sup>§</sup>In case joint mortar is indented,  $d$  becomes smaller for 1 ~ 2mm, but the factor  $\frac{3}{4}$  can be  $\frac{7}{8}$ . Therefore, using  $\frac{3}{4}$  and the influence of indented joints is ignored in the calculation.

The sectional area of the rebar  $d_b = 10\text{mm}$  is  $78.5\text{mm}^2$  and the yield strength of 230R is  $230\text{N/mm}^2$ , so that the allowable tensile strength becomes  $T = 18.1\text{kN}$ . Therefore, for  $k=1.0$ , ]

$$h = 2.61\text{ m} \quad (13)$$

For  $d_b = 12\text{mm}$  rebar, the area is  $113\text{mm}^2$ , then  $T=26\text{kN}$  and  $h=3.12\text{m}$ .

The above calculation shows that the height of wall is  $2.61\text{ m}$  with  $d_b = 10\text{mm}$  @400mm and  $3.12\text{ m}$  with  $d_b = 12\text{mm}$  @400mm (Table 1).

Table 1: Rebar and height of CHB wall

Out-of-plane seismic factor		1.0
Vertical rebar spacing		0.4 m
Rebar 230R	$d_b = 10\text{mm}$	2.61 m
	$d_b = 12\text{mm}$	3.12 m

## 2.3 In-plane shear capacity of wall

### 2.3.1 In-plane shear strength

According to the AIJ Structural Standard<sup>1)</sup>, in-plane shear stress of reinforced CHB is  $0.25\sim 0.3\text{ N/mm}^2$  at cracking level and it is augmented approximately three times at ultimate capacity level of  $0.75\sim 0.9\text{ N/mm}^2$ . Therefore, we may assume that shear strength is  $0.25\text{ N/mm}^2$  for allowable stress design, and  $0.3\text{ N/mm}^2$  for strength design (Table 2).

Table 2: Shear strength of CHB wall for design

Design method	Shear strength ( $\text{N/mm}^2$ )
Allowable stress design	0.25
Strength design	0.30

### 2.3.2 Base shear factor

#### (BSL of Japan)

According to Building Standard Law (BSL)<sup>2)</sup>, the design base shear factor of short period structures is 0.2 for allowable stress design in most areas in Japan including Tokyo. Therefore, design base shear factor of 0.2 at allowable stress level means that the base shear factor at ultimate shear level becomes approximately 0.6. This indicates that design base shear factor is 0.6 for ultimate capacity level, i.e. the structural characteristic factor is  $D_s=0.6$  in Japanese seismic code. Since the maximum value of  $D_s$  is 0.55 for the most brittle RC structures,  $D_s=0.6$  is acceptable comparing this value with the values of other types of structures. Furthermore, the design wall ratio is increased by 1.5 times of required wall ratio (Table 3). This indicate the ultimate capacity of RCHB construction is 0.9.

#### (NSCP)

According to ‘‘Sec. 208.5.2 Static Force Procedure’’ of NSCP 2015, the design base shear  $V$  of short

period structures is given as follows (Eq.(208-9)).

$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} W \quad (14)$$

where,  $C_a = 0.44 N_a$  for the zone  $Z = 0.4$  and for the soil profile type  $S_D$  or  $S_E$ . The near-source factor  $N_a = 1.0$  for the distance to the fault is more than 15 km regardless of seismic source types. The importance factor for ordinary structures is  $I = 1.0$ .  $R$  is the reduction factor to consider overstrength and ductility, and  $R = 4.5$  for masonry shear walls (Table 208-11C).  $W$  is the total weight of the structure. Therefore, the base shear factor  $C_B = V/W$  is obtained as follows.

$$C_B = \frac{2.5 \times 0.44 \times 1.0 \times 1.0}{4.5} = 0.244 \quad (15)$$

Base shear factor  $C_B = 0.244$  using 0.30 for strength design is almost equivalent to  $C_B = 0.2$  using 0.25 for allowable stress design ( $0.244/0.3=0.81$ ,  $0.2/0.25=0.8$ ). Therefore, the design wall ratio  $p_d$  of Table 3 that is derived for the base shear factor  $C_B = 0.2$  can be accepted in the Philippines. However, in case Near-Source Factor  $N_a > 1.0$ ,  $p_d$  should be increased by multiplying  $N_a$ .

### 2.3.3 Required wall ratio

Assuming the base shear factor is 0.2, the weight of roof floor is  $10\text{ kN/m}^2$  and the allowable shear stress of CHB<sup>1)</sup> is  $0.25\text{ N/mm}^2$ , the required wall ratio  $p_r$  (sum of horizontal sectional area of walls in the direction concerned divided by the floor area) for single story buildings is given as follows.

$$p_r = 0.2 \times 10 \times 1,000 / (0.25 \times 1,000^2) = 0.008 = 0.80\% \quad (16)$$

Considering the stress concentration of 1.5, the design wall ratio  $p_d$  is given as follows.

$$p_d = 0.0120 = 1.20\% \quad (17)$$

For two and three story buildings, assuming the weight per floor area is  $13\text{ kN/m}^2$ ,  $A_i$  of the next formula becomes  $A_2 = 1.213$  for two story buildings where  $\alpha_2 = 0.435$  and  $T = 0.14$  (s), and  $A_3 = 1.417$  and  $A_2 = 1.158$  for three story buildings where  $\alpha_3 = 0.278$ ,  $\alpha_2 = 0.639$  and  $T = 0.21$  (s). The wall ratios of two story buildings and three story buildings are calculated as shown in Table 3.

$$A_i = 1 + \left( \frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \frac{2T}{1 + 3T} \quad (18)$$

The values in Table 3 can be adjusted multiplying  $Z/0.4$  and should be increased by Near-Source Factor  $N_a > 1.0$ .

Since upper bearing walls supported by lower bearing walls should be considered to be structurally effective, the wall ratio of upper story includes only the parts of bearing walls on the lower bearing walls (Fig.5).

Table 3: Wall ratios for each story and direction

Number of stories	1 story		2 story	
Story concerned	1st	1st	2nd	
Required wall ratio* $p_r$	0.0080	0.0184	0.0097	
Design wall ratio* $p_d$	0.0120	0.0276	0.0146	
Wall length** (mm/m <sup>2</sup> )	80	184	97	
AIJ Standard** (mm/m <sup>2</sup> )	150	180	150	

Number of stories	3 story		
Story concerned	1st	2nd	3rd
Required wall ratio* $p_r$	0.0288	0.0213	0.0113
Design wall ratio* $p_d$	0.0432	0.0320	0.0170
Wall length** (mm/m <sup>2</sup> )	288	213	113
AIJ Standard** (mm/m <sup>2</sup> )	250	180	150

\* Sum of horizontal sectional area of walls for each direction divided by the floor area

\*\* Wall length per floor area for 150 mm thick wall (Article 62 of BSL Enforcement Order, it shall be more than 150 mm/m<sup>2</sup>.)

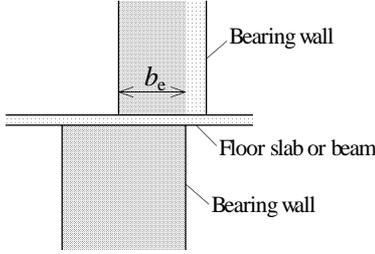


Figure 5: Effective part of bearing wall ( $b_e$ ) for wall ratio calculation

## 2.4 Uplift of bearing walls

### 2.4.1 Uplift of bearing walls and critical ratio

#### (Single story bearing wall)

A wall is subjected to horizontal force  $P$  and vertical force  $W$  as shown in Fig.6. For the wall of width  $b$  and height  $h$ , neglecting tensile strength of the wall and its rebars, the moment equilibrium around  $O$  is given as follows.

$$Ph = \frac{1}{2}b_0 W + b_0 T \quad (19)$$

where,  $T$  is the tensile force of the anchor,  $W$  acts at the center of the wall, and  $b_0$  is the distance between the center of rotation  $O$  and the anchor.

The total vertical loads to a building is supported by bearing walls in X and Y directions. The actual wall ratios are more than required ones by  $\alpha_x$  and  $\alpha_y$  for X and Y directions. The vertical loads are supported by bearing walls and it can be assumed that the supported loads are proportional to the horizontal sectional areas of walls. Then the  $W$  in Fig.6 is given as follows.

$$W = \frac{btw}{(1 + \alpha_y/\alpha_x)p_r} \quad (20)$$

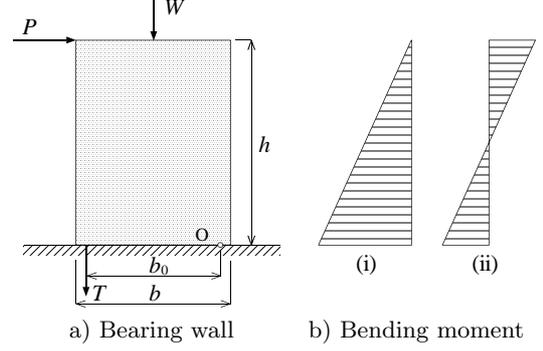


Figure 6: One story bearing wall subjected to horizontal and vertical forces, and its moment

where,  $t$  is the thickness of the wall and  $w$  is the weight of the supported building per unit floor area.

Substituting the above relation into Eq.(19) gives

$$Ph = \frac{1}{2}b_0 \frac{btw}{(1 + \alpha_y/\alpha_x)p_r} + b_0 T \quad (21)$$

Let the average shear stress of the bearing wall be  $\tau$ ,  $P$  is given as follows.

$$P = \tau bt \quad (22)$$

Then Eq.(21) becomes

$$\tau bth = \frac{1}{2}b_0 \frac{btw}{(1 + \alpha_y/\alpha_x)p_r} + b_0 T \quad (23)$$

Therefore,

$$\tau = \frac{1}{2} \frac{b_0}{h} \frac{w}{(1 + \alpha_y/\alpha_x)p_r} + \frac{b_0}{b} \frac{T}{th} \quad (24)$$

Assuming the wall ratio of Y direction is three times larger than X direction, i.e.  $\alpha_y/\alpha_x = 3.0$  and considering X direction that is apt to uplift, the above equation becomes as follows, when the average shear stress reaches at the short term allowable shear stress  $\tau_1 = 0.25(\text{N/mm}^2)$ , where  $b_0 = 0.8b$ ,  $w = 10(\text{kN/m}^2) = 0.01(\text{N/mm}^2)$ ,  $h = 3000(\text{mm})$ ,  $p_r = 0.008$  from Table 3, and  $t = 150(\text{mm})$ .

$$0.25 = \frac{0.8b}{2h} \frac{0.01}{(1 + 3)0.008} + \frac{0.8T}{150 \times 3000} \quad (25)$$

$$0.25 = \left(\frac{b}{h}\right) \times 0.125 + 0.00178 \frac{T}{1000} \quad (26)$$

Therefore, the critical aspect ratio  $r_c$  that does not cause uplift becomes as follows.

$$r_c = \left(\frac{h}{b}\right) = \frac{0.125}{(0.25 - 0.00178 \frac{T}{1000})} \quad (27)$$

$$r_c = \left(\frac{h}{b}\right) = \begin{cases} 0.500 & \text{no anchor} \\ 0.573 & d_b = 10 \text{ mm anchor} \\ 0.613 & d_b = 12 \text{ mm anchor} \end{cases} \quad (28)$$

These values become twice in case the top of wall is fixed (the rotation of the top is restricted, Fig.6b(ii)).

Table 4: Critical aspect ratios  $r_c$  of bearing walls

Diameter of Anchor (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	$T^*$ (kN)	Critical ratio $r_c$	
			A	B
None	0	0	0.500	1.000
10	71	18.1	0.573	1.146
12	127	26.0	0.613	1.226

\*Tensile strength of 230R anchor

A: Fixed at one end, B: Fixed at both ends

Then, the critical aspect ratios  $r_c$  with or without anchors are shown in Table 4.

### (Two story bearing wall)

For two story bearing wall (Fig.7a), Eq.(19) and other equations become as follows, where the subscripts 1 and 2 show the story number.

$$P_1 h_1 + P_2 (h_1 + h_2) = \frac{1}{2} b_0 (W_1 + W_2) + b_0 T \quad (29)$$

$$W_1 = \frac{b_1 t_1 w_1}{(1 + \alpha_{y1}/\alpha_{x1}) p_{r1}} \quad W_2 = \frac{b_2 t_2 w_2}{(1 + \alpha_{y2}/\alpha_{x2}) p_{r2}} \quad (30)$$

$$P_1 + P_2 = \tau_1 b_1 t_1 \quad P_2 = \tau_2 b_2 t_2 \quad (31)$$

where, we assume that  $b_1 = b_2 = b$ ,  $t_1 = t_2 = t$ ,  $h_1 = h_2 = h$ ,  $\alpha_{y1}/\alpha_{x1} = \alpha_{y2}/\alpha_{x2} = 3.0$ ,  $b_0 = 0.8b$ ,  $w_1 = 13(\text{kN/m}^2) = 0.013(\text{N/mm}^2)$ ,  $w_2 = 10(\text{kN/m}^2) = 0.01(\text{N/mm}^2)$ ,  $h = 3000(\text{mm})$ ,  $p_{r(1/2)} = 0.0184$  from Table 3,  $p_{r(2/2)} = 0.0097$ , and  $t = 150(\text{mm})$ .

Furthermore, when the shear stress of the bearing wall at the 1st story becomes the allowable shear stress for temporary loads, i.e.  $\tau_1 = 0.25(\text{N/mm}^2)$ , we assume that the shear stress of the bearing wall at the 2nd story is  $\tau_2 = (0.0097/0.0184)0.25 = 0.132(\text{N/mm}^2)$  (Table 3). Then, the critical aspect ratio  $r_c$  that does not cause uplift of the two story bearing wall is given as follows.

$$r_c = \left( \frac{h_1 + h_2}{b} \right) = \begin{cases} 0.908 & \text{no anchor} \\ 0.992 & d_b = 10\text{mm anchor} \\ 1.034 & d_b = 12\text{mm anchor} \end{cases} \quad (32)$$

### (Three story bearing wall)

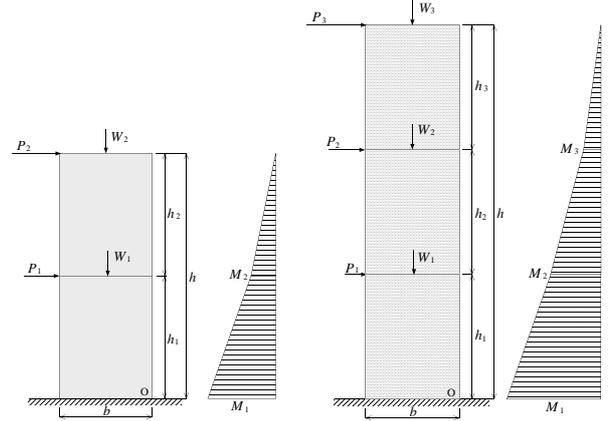
Similar calculation gives that the critical aspect ratio  $r_c$  that does not cause uplift of the three story bearing wall is given as follows.

$$r_c = \left( \frac{h_1 + h_2 + h_3}{b} \right) = \begin{cases} 1.094 & \text{no anchor} \\ 1.164 & d_b = 10\text{mm anchor} \\ 1.198 & d_b = 12\text{mm anchor} \end{cases} \quad (33)$$

The above calculation shows that the effect of anchors of  $d_b = 10\text{mm}$  or  $d_b = 12\text{mm}$  to prevent uplift is rather small. Therefore, the effect of anchors is neglected in the calculation below.

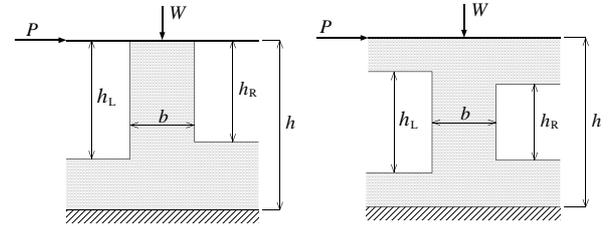
### 2.4.2 Aspect ratio and reduction factor of single story bearing wall

If the aspect ratio  $r$  is greater than the critical aspect ratio  $r_c$ , the lateral capacity of the wall is reduced by multiplying the reduction factor  $\beta$  as follows.



a) 2 story bearing wall b) 3 story bearing wall

Figure 7: 2&3 story bearing walls subjected to lateral forces, vertical forces and the bending moments



a) Fixed at one end b) Fixed at both ends

Figure 8: Bearing walls with openings

In case there are no openings, the effective height of the bearing wall  $h_e$  is the height of the story  $h$ , i.e.  $h_e = h$  (Fig.6a). In case there are openings, the effective height of the bearing wall  $h_e$  is calculated as follows, where  $h \geq h_L \geq h_R$  (Fig.8). The  $h_e$  need not to be more than  $2h_R$ .

$$h_e = \frac{(h_L + h_R)}{2} \leq 2h_R \quad (34)$$

The aspect ratio  $r$  is calculated as follows.

$$r = \frac{h_e}{b} \quad (35)$$

Depending on the aspect ratio  $r$ , the lateral capacity of the bearing wall is reduced by multiplying the reduction factor  $\beta$  that is calculated as follows.

$$\beta = \begin{cases} 1 & \text{for } r \leq r_c \\ r_c/r & \text{for } r > r_c \end{cases} \quad (36)$$

The critical aspect ratio  $r_c$  is given in Table 4, where depending on the end condition of bearing walls,  $r_c$  for “fixed at one end” is applied (Fig.8a) or  $r_c$  for “fixed at both ends” is applied (Fig.8b).

Table 5: Reduction factor  $\beta$  of bearing walls

Bearing wall stories	1	2	3
Critical aspect ratio $r_c$	0.5	0.91	1.1
(Fixed at both ends)	(1.0)		
Reduction factor $\beta$	$r_c/r$		

### 2.4.3 Reduction factor of multi-story bearing wall

In case of multi-story bearing wall, the aspect ratio  $r$  is determined from Eq.(35) for each structural frame (the average height is used for inclined wall) and the reduction factor  $\beta$  is calculated using Eq.(36).

Since the reduction is considered according to the widths of openings, the reduction factor  $\beta$  need not be considered if  $\beta > (1 - \phi)$  where  $\phi$  is the opening ratio (sum of opening widths divided by the whole bearing wall width).

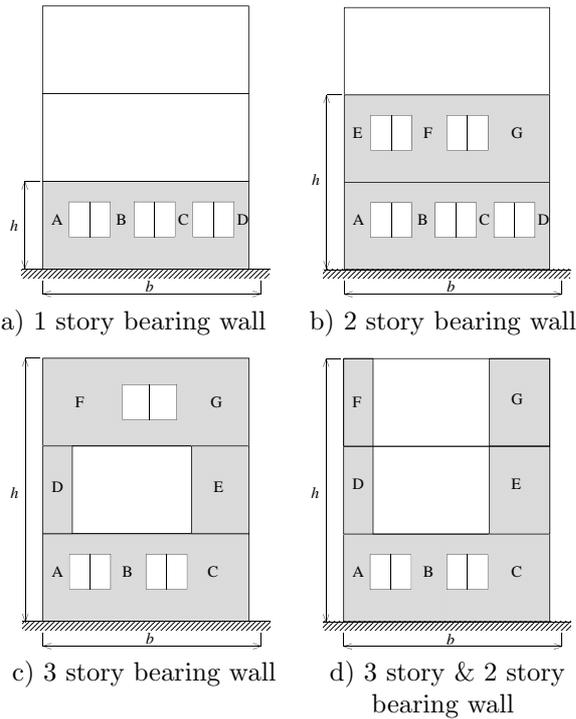


Figure 9: Aspect ratio of multi-story bearing wall

#### (Example)

In Fig.9, the aspect ratio  $r$  and reduction factor  $\beta$  are calculated for each bearing wall (A, B, C, . . . , G) as a single story bearing wall (Table 5). Furthermore the reduction factor  $\beta$  for frame is calculated as follows.

- In Fig.9a), the aspect ratio for frame is  $r = h/b$ , the critical aspect ratio is  $r_c = 0.5$ , and the reduction factor  $\beta = r_c/r$  is calculated. The reduction factor  $\beta$  need not be considered if  $\beta > (1 - \phi)$  where  $\phi$  is the opening ratio (sum of opening widths divided by the whole bearing wall width).
- In Fig.9b), the aspect ratio for frame  $r = h/b$  is calculated as 2 story bearing wall regardless the number of stories. The reduction factor  $\beta$  is calculated, where the critical aspect ratio  $r_c$  is 0.91. The reduction factor  $\beta$  need not be

considered if  $\beta > (1 - \phi)$  where  $\phi$  is the opening ratio.

- In Fig.9c), the aspect ratio for frame is  $r = h/b$  and the reduction factor  $\beta$  is calculated, where the critical aspect ratio  $r_c$  is 1.1. The reduction factor  $\beta$  need not be considered if  $\beta > (1 - \phi)$  where  $\phi$  is the opening ratio.
- In Fig.9d), the aspect ratio for frame of three story is  $r = h/b$  and the reduction factor  $\beta$  is calculated, where the critical aspect ratio  $r_c$  is 1.1. The aspect ratios and reduction factors for frame of 2 story are calculated for the bearing wall including D and F and the bearing wall including E and G. The reduction factor  $\beta$  need not be considered if  $\beta > (1 - \phi)$  where  $\phi$  is the opening ratio (sum of opening widths divided by the whole bearing wall width).

In summary, the reduction factor for each wall and the reduction factor for frame are calculated, then the smallest reduction factor (that reduces most) is used.

The above calculation is based on the base shear factor 0.2 and allowable stress for temporary load. The base shear factor 0.2 seems to be too small for considering the uplift of walls. However the base shear factor for the uplift of whole structure becomes more than 0.4, considering the vertical load that is supported by bearing walls in orthogonal direction. Furthermore the structure does not overturn even if it may uplift, considering the size effect, and collapse mode of uplift is ductile behavior. Therefore, the assumptions that are used in the above calculation should be accepted.

## 3 Conclusion

RCHB construction has enough structural capacity to survive severe earthquakes, tsunamis, typhoons, etc. It is also fire resistant. Some of important points to be considered in structural design are as follows.

1. CHB bearing walls should be reinforced with vertical and horizontal rebars.
2. Bearing walls should be installed in the entire building in balance horizontally and vertically.
3. Bearing wall ratios of every story should not be less than the design wall ratios (Table 3) in X and Y directions.
4. Floor and roof slabs should have enough capacity to distribute lateral forces to bearing walls.
5. Continuous foundation should be placed to support bearing wall lines of the ground floor.

## **(References)**

- 1) Architectural Institute of Japan (AIJ): “Structural Standard for Wall Type Structures (Masonry)” (in Japanese), March 2006.
- 2) Yuji Ishiyama: “Introduction to Earthquake Engineering and Seismic Codes in the World”, Lecture Note for International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IISEE), July 2019.

### 3. 3 RCHB の技術基準(案)

<p style="text-align: center;"><b>(Draft) Guideline for Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines</b></p> <p><b>Article 1. Scope</b></p> <p>1. This guideline shall be used for buildings of reinforced concrete hollow block (RCHB) construction, where concrete hollow block (CHB) walls are reinforced with vertical and horizontal rebars to resist seismic forces, wind pressure, etc. Note) See Figs.1, 2, 3 and 4.</p> <p>2. RCHB buildings shall not exceed three stories nor 12m in height excluding the basement. Note) Structural safety of basement should be confirmed through structural calculation against loads including soil and water pressure. Basement walls should be of waterproofing and are recommended to be of reinforced concrete (RC) construction.</p> <p><b>Article 2. Terminology and notation</b></p> <p><b>CHB:</b> Concrete Hollow Block</p> <p><b>RC:</b> Reinforced concrete</p> <p><b>Shear wall:</b> A wall that resists horizontal forces, e.g. seismic forces and wind pressure. It also resists vertical forces in CHB construction.</p> <p><b>Bearing wall:</b> A wall that resists vertical forces. It also resists horizontal forces in CHB construction.</p> <p><b>Bearing wall line:</b> A line on the plan where bearing walls are placed.</p> <p><b>Wall ratio:</b> The sum of horizontal sectional</p>	<p style="text-align: center;">フィリピンの工学的 補強空洞コンクリートブロック(RCHB) 構造指針(案)</p> <p><b>1 条 適用</b></p> <p>1. 本指針は、空洞コンクリートブロック (CHB) の壁を鉛直力、地震力、風圧力などに抵抗するように縦横筋で補強した補強空洞コンクリートブロック (RCHB) 造の建物に適用する。 注) Fig.1, 2, 3, 4 参照</p> <p>2. RCHB 造の建物は地下階を除く階数が 3 以下、かつ高さ 12m 以下とする。  注) 地下階は土圧・水圧を含む荷重に対して構造計算によって、その構造安全性を確認する。地下壁には防水処理を施すこと。また、RC 造とすることが推奨される。</p> <p><b>2 条 用語と記号</b></p> <p><b>CHB:</b> 空洞コンクリートブロック</p> <p><b>RC:</b> 鉄筋コンクリート</p> <p><b>耐震壁:</b> 水平力(地震力・風圧力など)を負担する壁、CHB 造では耐力壁としても働く</p> <p><b>耐力壁:</b> 鉛直力を負担する壁、CHB 造では耐震壁としても働く</p> <p><b>耐力壁線:</b> 耐力壁を配置する平面上の線分</p> <p><b>壁率:</b> X または Y 方向の耐力壁の空洞を含む</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>areas of bearing walls, including hollows but excluding openings, in X or Y direction divided by the floor area of the story concerned.</p> <p><b>Bond beam:</b> A beam that connects the top of bearing walls on the bearing wall line.</p> <p><b>d<sub>b</sub>:</b> The nominal diameter of rebars. The smaller diameter of rebars at lap joints of rebars with different diameters.</p> <p><b>psi:</b> pounds per square inch (1psi ≐ 0.0069MPa, 1MPa ≐ 145psi)</p> <p><b>PNS:</b> Philippine National Standards</p> <p><b>JIS:</b> Japanese Industrial Standards</p> <p><b>Article 3. Quality of Materials</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Net compressive strength of CHB units used for walls shall not be less than 12MPa ≐ 1740psi (gross compressive strength 6MPa ≐ 870psi). Note) For example, PNS ASTM C90-2019 load-bearing CHB, JIS A 5406 Type B, etc. (see Figs. 2 and 3)</li> <li>2. Yield strength of rebars shall not be less than 230MPa ≐ 33350psi. Note) For example, PNS 49:2020 230R, 280R, 280W, JIS G 3112 SD295A, SD345, JIS G3117 SDR295, etc.</li> <li>3. The design strength of cement mortar to fill hollows and joints shall not be less than 15MPa ≐ 2175psi. Note) Recommended cement-sand volume ratio is 1:4 or richer.</li> </ol> <p><b>Article 4. Foundations</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. RC or equivalent continuous foundations shall be placed to support bearing wall lines of the ground floor.</li> </ol>	<p>が開口部を除く水平断面積の和をその階の床面積で除した値</p> <p><b>臥梁 (結合梁):</b> 耐力壁線上の耐力壁の上部を結合する梁</p> <p><b>d<sub>b</sub>:</b> 鉄筋の公称径、異なる径の重ね継手では小さい方の径</p> <p><b>psi:</b> ポンド平方インチ (1psi ≐ 0.0069MPa, 1MPa ≐ 145psi)</p> <p><b>PNS:</b> フィリピン国家規格</p> <p><b>JIS:</b> 日本産業規格</p> <p><b>3 条 材料の品質</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 壁に使用する CHB の実断面圧縮強度は 12MPa ≐ 1740psi (全断面圧縮強度 6MPa ≐ 870psi) 以上とする。 注) 例えば、PNS 規格 ASTM C90-2019 の耐力 CHB、JIS A5406 規格の B 種など (Figs. 2, 3 参照)</li> <li>2. 鉄筋の降伏強度は 230MPa ≐ 33350psi) 以上とする。 注) 例えば、PNS 49:2020 規格の 230R, 280R, 280W、JIS G 3112 規格の SD295A, SD345, G 3117 規格の SDR295 など</li> <li>3. 空洞部のグラウトと目地に用いるモルタルまたはコンクリートの設計強度は 15MPa ≐ 2175psi 以上とする。 注) セメントと砂の容積率は 1:4 またはそれ以上とする。</li> </ol> <p><b>4 条 基礎</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 最下階の耐力壁線を支持するように RC 造または同等の布基礎を設けること。</li> </ol>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>2. The thickness of foundation wall shall not be less than the thickness of the bearing walls.</p> <p>Note) Footing width and depth of foundations should be decided based on National Structural Code of the Philippines (NSCP) Chapter 3.</p>	<p>2. 基礎の立ち上がり部分の幅は耐力壁の厚さ以上とする。</p> <p>注) 基礎の底盤幅、高さはフィリピン国内構造規準(NSCP)第3章による。</p>
<p><b>Article 5. Construction of Bearing Walls</b></p>	<p><b>5条 耐力壁の構造</b></p>
<p>1. Bearing walls shall be composed of CHB units of no less than 150mm in thickness and the length of each bearing wall shall be no less than 0.6m.</p> <p>2. The height of bearing walls between the top and bottom supports shall not exceed 3m in case <math>d_b=10\text{mm}</math> vertical rebars and shall not exceed 4m in case <math>d_b=12\text{mm}</math> vertical rebars.</p> <p>3. The bottom of bearing walls shall be supported with either foundations, floor slabs or bond beams. The top of bearing walls shall be supported with either floor slabs, roof slabs or bond beams.</p> <p>4. The bearing walls shall be reinforced with horizontal and vertical rebars, so that they can behave as shear walls.</p> <p>5. The rebars shall be at least <math>d_b=10\text{mm}</math> that are spaced horizontally and vertically no more than every 0.5m.</p> <p>Note) Rebars are usually spaced every CHB unit length (0.4m). It is recommended that the rebars at the end of walls and around openings are <math>d_b=12\text{mm}</math>.</p> <p>6. The vertical rebars shall not be spliced at the middle part of walls.</p> <p>7. The ends of vertical rebars shall be embedded into foundations, bond beams,</p>	<p>1. 耐力壁は厚さ 150 mm以上の CHB ユニットからなり、各耐力壁の長さは 0.6m 以上とする。</p> <p>2. 耐力壁の頂部と底部の支点間距離は縦筋が <math>d_b=10\text{mm}</math> の場合は 2.6m、縦筋が <math>d_b=12\text{mm}</math> の場合は 3.1m 以下とする。</p> <p>3. 耐力壁の底部は基礎、床スラブまたは臥梁で支持されること。耐力壁の頂部は床スラブ、屋根スラブまたは臥梁で支持されること。</p> <p>4. 耐力壁は、耐震壁としても挙動するように縦横筋によって補強すること。</p> <p>5. 補強筋は少なくとも <math>d_b=10\text{mm}</math> とし、その間隔は縦横とも 0.5m を超えないこと。</p> <p>注) 補強筋の間隔は通常 CHB ユニットの長さ(0.4m)である。壁の端部と開口周囲の補強筋は <math>d_b=12\text{mm}</math> とするのが望ましい。</p> <p>6. 縦筋は壁の中央部付近に重ね継手を設けない。</p> <p>7. 縦筋の端部は基礎または臥梁に <math>30d_b</math> 以上定着、または基礎または臥梁に <math>30d</math> 以</p>

<p>slabs or bearing walls no less than <math>30d_b</math>, or can be spliced no less than <math>30d_b</math> with anchors that are embedded no less than <math>30d_b</math> into foundations, bond beams, slabs or bearing walls. The anchors can be replaced by post-installed anchors or rebars of <math>d_b=12\text{mm}</math> that is embedded at least <math>10d_b</math>.</p> <p>Note) Adhesive should be used for post-installed anchors or rebars.</p> <p>8. The ends of horizontal rebars shall be hooked to the vertical rebars or spliced to adjacent horizontal rebars with no less than <math>30d_b</math> lapping.</p> <p>9. Hollows where horizontal and vertical rebars are placed shall be grouted.</p> <p>Note) Hollows without rebars need not to be grouted (see Fig.4).</p> <p>10. Rebars shall be covered by concrete or cement mortar no less than 30mm in thickness.</p> <p>Note) The thickness may include the thickness of face shell or web of CHB units.</p>	<p>上定着したアンカー筋と長さ <math>30d_b</math> 以上の重ね継手とすることができる。アンカー筋の代わりに埋め込み長さ <math>10d_b</math> 以上とした <math>d_b=12\text{mm}</math> のあと施工アンカーまたは鉄筋を用いることができる。</p> <p>注)あと施工のアンカーまたは鉄筋には接着剤を用いること。</p> <p>8. 横筋の端部は縦筋にフック掛け、または横筋と <math>30d_b</math> 以上重ね継ぐこと。</p> <p>9. 縦横筋の入る空洞はグラウトする。 注)鉄筋の入らない空洞をグラウトの必要はない(Fig.4 参照)。</p> <p>10. 鉄筋のコンクリートまたはモルタルによる被り厚さは 30 mm以上とする。 注)被り厚さには CHB ユニットのフェイスシェルまたはウェブの厚さを加えてもよい。</p>
<p><b>Article 6. Installation of Bearing Walls</b></p> <p>1. Bearing walls shall be installed in the entire building in balance horizontally and vertically.</p> <p>Note) This requirement is usually realized, if Requirements of Items 2 to 6 of this Article are fulfilled.</p> <p>2. Openings in bearing wall lines shall not exceed 4m in length. The sum of opening lengths shall be less than 2/3 of the bearing wall line.</p> <p>Note) See Fig.5.</p> <p>3. The bearing wall lines shall be placed no</p>	<p><b>6 条 耐力壁の配置</b></p> <p>1. 耐力壁は建物全体に平面的かつ立面的に釣合いよく配置する。 注)この要件は本条の 2~6 が満足されるならば通常実現される。</p> <p>2. 耐力壁線の中の開口幅は 4m 以下とする。開口幅の和はその耐力壁線の 2/3 以下とする。 注) Fig.5 参照</p> <p>3. 耐力壁線は X, Y 方向とも 7.5m 以上離れ</p>

<p>more than 7.5m apart in X and Y directions.</p> <p>4. The bearing wall lines of the upper story shall be on the bearing wall lines of the lower story. In case the upper and lower bearing wall lines are placed more than the thickness of the bearing wall, the safety of that part shall be confirmed by structural calculation.</p> <p>Note) See Fig.6.</p> <p>5. The wall ratio of each story for X and Y directions shall not be less than the value shown in Table 1. For the bearing wall that is inclined <math>\theta</math> from X or Y direction, the horizontal sectional area shall be multiplied by <math>\cos^2 \theta</math>. In case the aspect ratio <math>r</math> of the bearing wall exceeds the critical aspect ratio <math>r_c</math>, the horizontal sectional area shall be multiplied by the reduction factor <math>\beta</math> in Table 2.</p> <p>Note) See Figs.7, 8 and 9 for definition of aspect ratio <math>r</math> and critical aspect ratio <math>r_c</math>.</p> <p>6. The wall ratio of upper story shall include only the parts of bearing walls on the lower bearing walls.</p> <p>Note) See Fig.10.</p> <p>Table 1: Required wall ratios of the story</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Number of stories</th> <th colspan="3">Story number</th> </tr> <tr> <th>1st</th> <th>2nd</th> <th>3rd</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1.20%</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.76%</td> <td>1.46%</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>4.32%</td> <td>3.20%</td> <td>1.70%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Note) The values in the table can be adjusted by multiplying <math>Z/0.4</math>, and should be increased by Near-Source Factor <math>N_a</math> if <math>N_a &gt; 1.0</math>. The values can also be reduced using better CHB units, stronger grout mortar, full grout construction, etc. and</p>	Number of stories	Story number			1st	2nd	3rd	1	1.20%	—	—	2	2.76%	1.46%	—	3	4.32%	3.20%	1.70%	<p>ないように配置する。</p> <p>4. 上階の耐力壁線は下階の耐力壁線の上に配置する。上下階の耐力壁線が耐力壁の厚さ以上離れている場合は構造計算によりその部分の安全性を検討する。</p> <p>注) Fig.6 参照</p> <p>5. 各階の壁率は X, Y 方向それぞれ次の表 1 の値以上とする。X, Y 方向から <math>\theta</math> 傾いた耐力壁については、その水平断面積に <math>\cos^2 \theta</math> を乗じる。耐力壁のアスペクト比が限界アスペクト比 <math>r_c</math> を超える場合は、水平断面積は表 2 の低減係数 <math>\beta</math> を乗じて減少させる。</p> <p>注) Fig.7, 8, 9 参照</p> <p>6. 上階の壁率には、下階の耐力壁の直上にある耐力壁の部分のみを含める。</p> <p>注) Fig.10 参照</p> <p style="text-align: center;">表 1 各階の必要壁量</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">建物階数</th> <th colspan="3">階数</th> </tr> <tr> <th>1 階</th> <th>2 階</th> <th>3 階</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>平屋</td> <td>1.20%</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>2 階建</td> <td>2.76%</td> <td>1.46%</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>3 階建</td> <td>4.32%</td> <td>3.20%</td> <td>1.70%</td> </tr> </tbody> </table> <p>注) 表の値は地震地域係数 <math>Z/0.4</math> を乗じて調整することができ、断層近傍係数 <math>N_a</math> が 1.0 を超える場合は <math>N_a</math> を乗じる。構造実験・構造計算を行い、高品質のユニット、高強度のグラウトモルタル、全充填の採用などによって値を低減すること</p>	建物階数	階数			1 階	2 階	3 階	平屋	1.20%	—	—	2 階建	2.76%	1.46%	—	3 階建	4.32%	3.20%	1.70%
Number of stories		Story number																																					
	1st	2nd	3rd																																				
1	1.20%	—	—																																				
2	2.76%	1.46%	—																																				
3	4.32%	3.20%	1.70%																																				
建物階数	階数																																						
	1 階	2 階	3 階																																				
平屋	1.20%	—	—																																				
2 階建	2.76%	1.46%	—																																				
3 階建	4.32%	3.20%	1.70%																																				

conducting structural experiments/calculation, but the values shall not be less than one-half of the values in the table.

Table 2: Reduction factor  $\beta$  of bearing walls

Bearing wall stories	1	2	3
Critical aspect ratio $r_c$ (Fixed top wall)	0.5 (1.0)	0.91	1.1
Reduction factor $\beta$	$r_c / r$		

### Article 7. Floor and Roof Slabs

- The floors shall be constructed with RC or equivalent slabs so that they can be used as diaphragms to transmit horizontal forces to bearing walls.

Note) For example, RC slabs of no less than 100mm in thickness, steel deck slabs with no less than 50mm thick concrete, etc. Structural safety of slabs should be confirmed through structural calculations.

- In case there is no diaphragm, a continuous bond beam shall be installed.

Note) Structural safety of bond beams without diaphragms should be confirmed through structural calculation against in-plane and out-of-plane loads.

ができるが、表の値の 1/2 を下回ってはならない。

表 2: 耐力壁の低減係数  $\beta$

耐力壁の層数	1	2	3
限界アスペクト比 $r_t$ (上端固定の場合)	0.5 (1.0)	0.91	1.1
低減係数 $\beta$	$r_t / r$		

### 7 条 床と屋根スラブ

- 床と屋根地震力や風圧力による水平力を耐力壁に伝達できるダイヤフラムとなるように RC 造スラブまたはそれと同等の構造とすること。

注) 例えば、厚さ 100mm 以上の RC スラブ、コンクリートの厚さ 50mm 以上のデッキスラブなどとする。スラブは構造計算によってその構造安全性を確かめること。

- ダイヤフラムのない場合は、連続する臥梁（結合梁）を設けること。

注) ダイヤフラムに接していない臥梁については、面内と面外荷重について、構造計算を行い、構造安全性を確認すること。

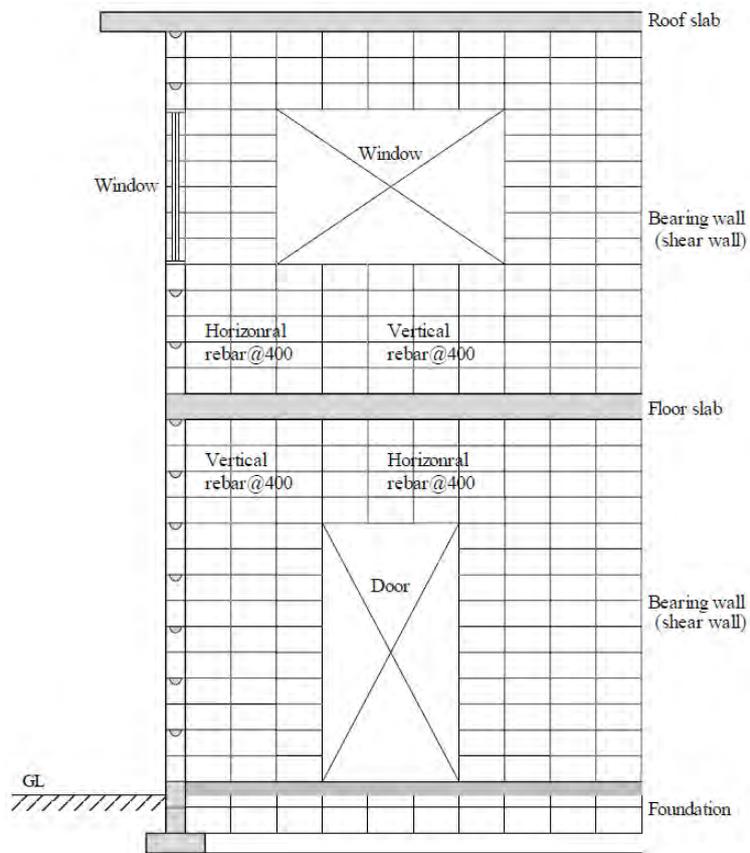


Fig.1 Outline of the Engineered RCHB Construction



Fig.2 Basic unit of CHB (390×190×150mm)

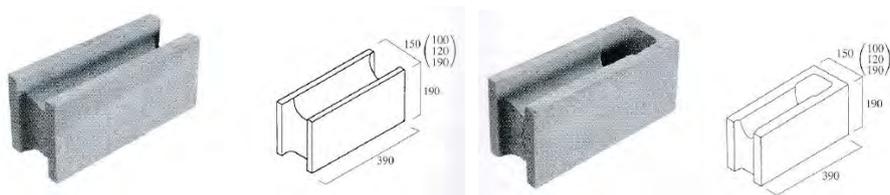


Fig.3 Horizontal rebar unit and end unit

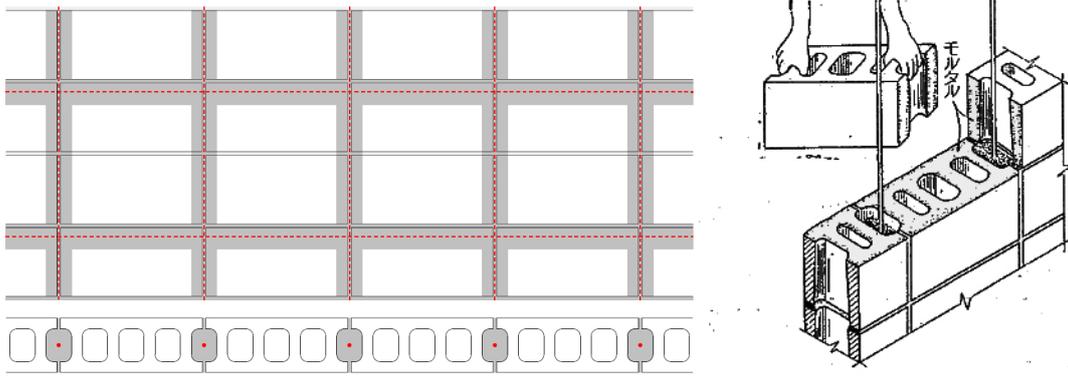


Fig.4 Mortar grout, joint mortar and rebars

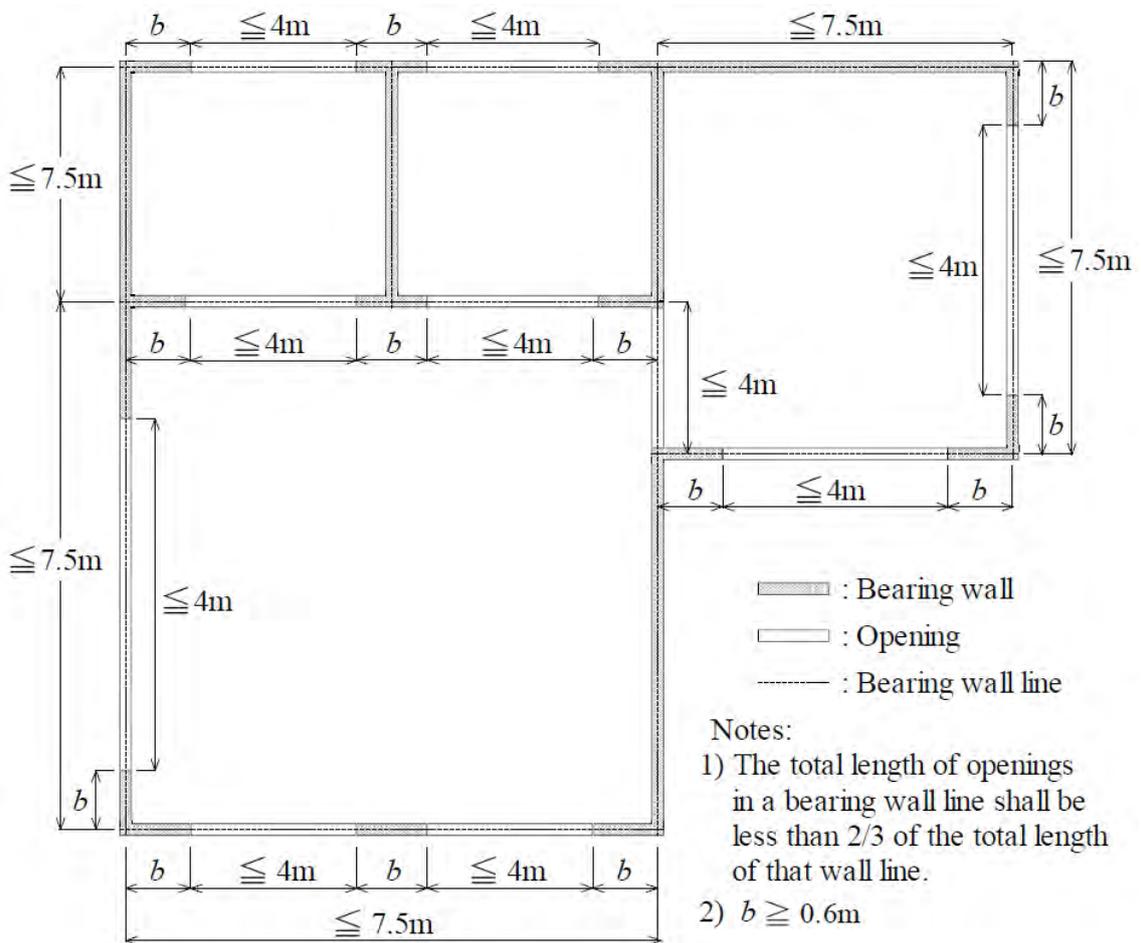


Fig.5 Bearing walls, openings and bearing wall lines

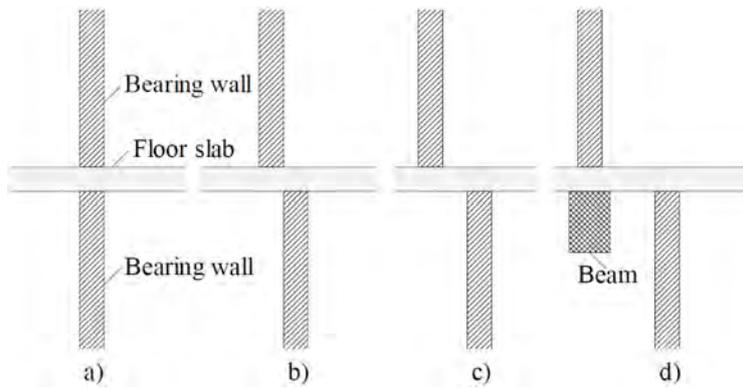
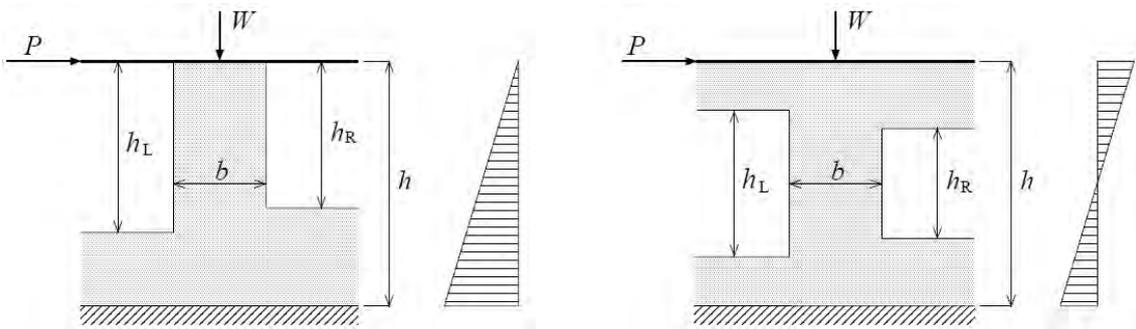


Fig.6 Bearing wall and floor slab

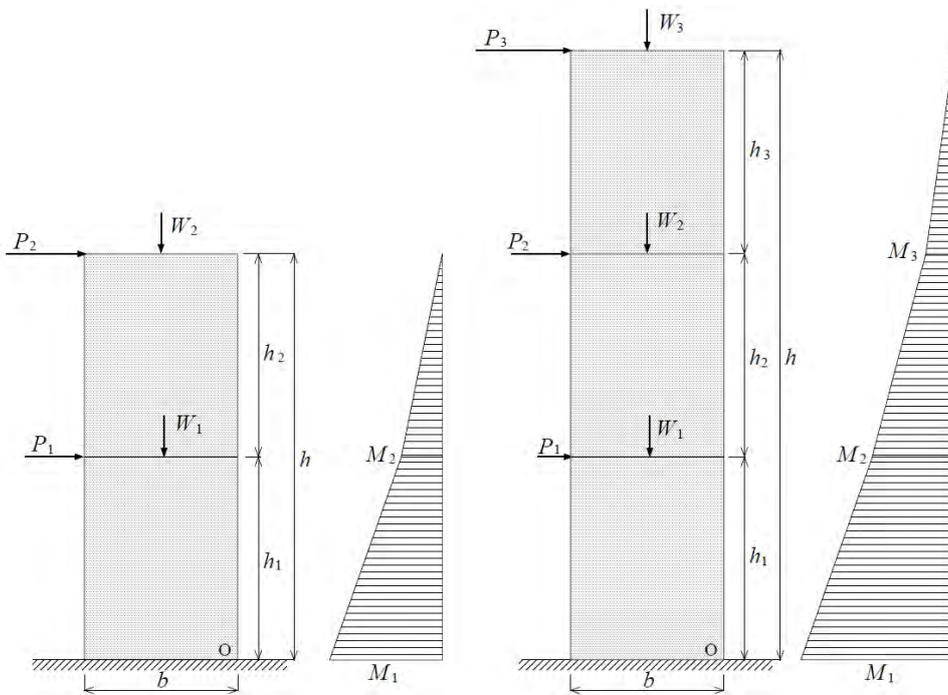
Structural calculation is required for the slab in case c) and for the beam in case d)



Critical aspect ratio  $r_c=0.5$

$r_c=1.0$

Fig.7 Aspect ratio  $(h_L+h_R)/2$  of each bearing wall



Critical aspect ratio  $r_c=0.91$

$r_c=1.1$

Fig.8 Aspect ratio  $h/b$  and critical wall ratio for 2 and 3 story bearing walls

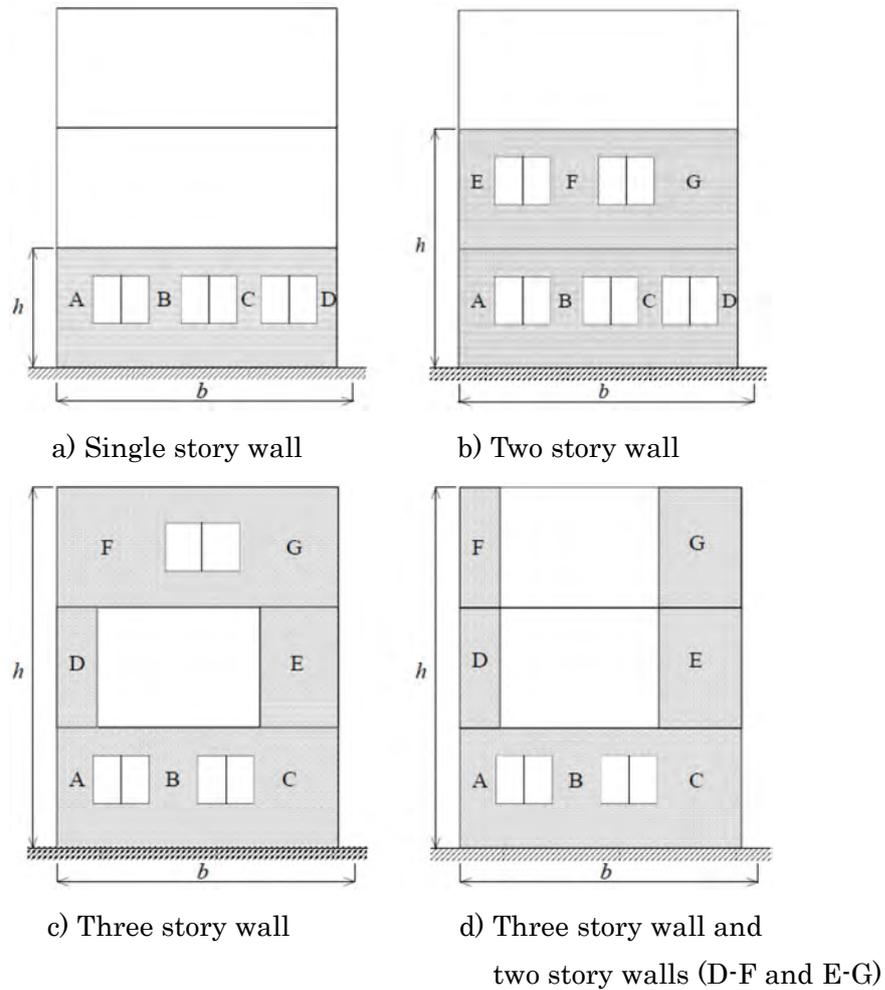


Fig.9 Aspect ratio and reduction factor

1. Calculate aspect ratio for each wall (A, B, C...) as Fig.7, and determine reduction factor according to the aspect ratio of each wall.
2. Calculate aspect ratio ( $h/b$ ) of multi-story wall, and determine reduction factor according to the aspect ratio of the multi-story wall.
3. Reduction factor of 1 or 2 to reduce the most is used.

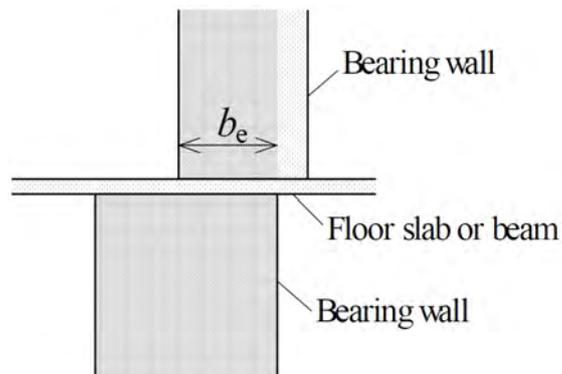


Fig.10 Effective part ( $b_e$ ) of bearing wall for wall ratio calculation

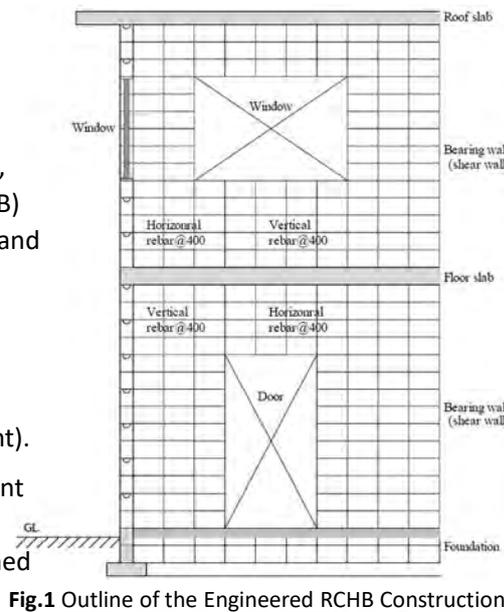
(石山祐二)

# Proposed Guideline for Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines

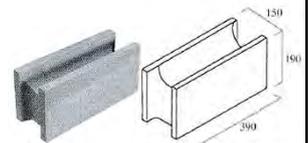
## Article 1. Scope

1. This guideline shall be used for buildings of reinforced concrete hollow block (RCHB) construction, where concrete hollow block (CHB) walls are reinforced with vertical and horizontal rebars to resist seismic forces, wind pressure, etc.
2. RCHB buildings shall not exceed three stories nor 12m in height excluding the basement (if present).

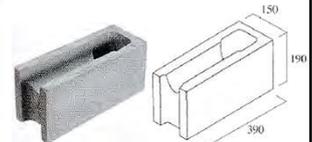
*Note:* Structural safety of basement against loads including soil and water pressure should be confirmed through structural calculations.



**Fig.2** Basic unit of CHB (390 × 190 × 150mm)



**Fig.3a** Horizontal Rebar unit



**Fig.3b** End unit



## Article 1. Scope

1. This guideline shall be used for buildings of reinforced concrete hollow block (RCHB) construction, where concrete hollow block (CHB) walls are reinforced with vertical and horizontal rebars to resist seismic forces, wind pressure, etc.
2. RCHB buildings shall not exceed three stories nor 12m in height excluding the basement (if present).

*Note:* Structural safety of basement against loads including soil and water pressure should be confirmed through structural calculations.

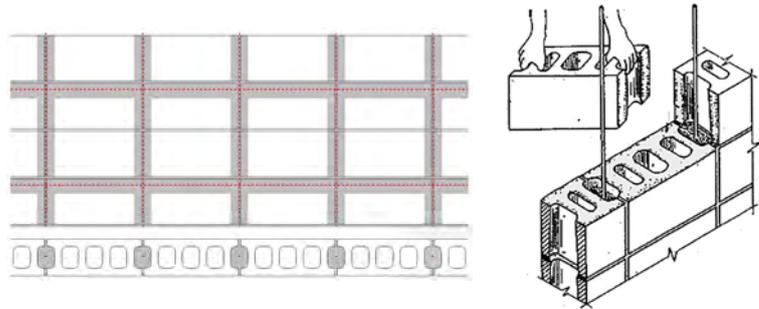


Fig.4 Mortar grout, joint mortar and rebars



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 2. Terminology and notation

**CHB:** Concrete Hollow Block

**RC:** Reinforced concrete

**Shear wall:** A wall that resists horizontal forces, e.g. seismic forces and wind pressure. It also resists vertical forces in CHB construction.

**Bearing wall:** A wall that resists vertical forces. It also resists horizontal forces in CHB construction.

**Bearing wall line:** A line on the plan where bearing walls are placed.

**Wall ratio:** The sum of horizontal gross sectional areas of bearing walls, including hollows but excluding openings, in X or Y direction divided by the floor area of the story concerned.

**Bond beam:** A beam that connects the top of bearing walls on the bearing wall line.

**$d_b$ :** The nominal diameter of rebars. The smaller diameter of rebars at lap joints of rebars with different diameters.

**psi:** pounds per square inch  
(1 psi  $\doteq$  0.0069 MPa, 1 MPa  $\doteq$  145 psi)

**PNS:** Philippine National Standards

**JIS:** Japanese Industrial Standards



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



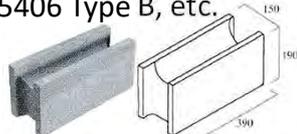
## Article 3. Quality of Materials

1. Net compressive strength of CHB units used for walls shall not be less than 12 MPa  $\cong$  1740 psi (gross compressive strength 6 MPa  $\cong$  870psi).

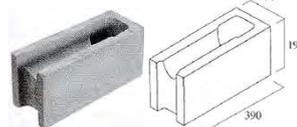
*For example:* PNS ASTM C90-2019 load-bearing CHB, JIS A 5406 Type B, etc.



**Fig.2** Basic unit of CHB (390 × 190 × 150mm)



**Fig.3a** Horizontal Rebar unit



**Fig.3b** End unit

2. Yield strength of rebars shall not be less than 230 MPa  $\cong$  33350 psi.

*For example:* PNS 49:2020 230R, 280R, 280W, JIS G 3112 SD295A, SD345, JIS G3117 SDR295, etc.

3. The design strength of cement mortar to fill hollows and joints shall not be less than 15MPa  $\cong$  2175psi.

*Note:* Recommended cement-sand volume ratio is 1:4 or richer.



PROPOSED GUIDELINE :

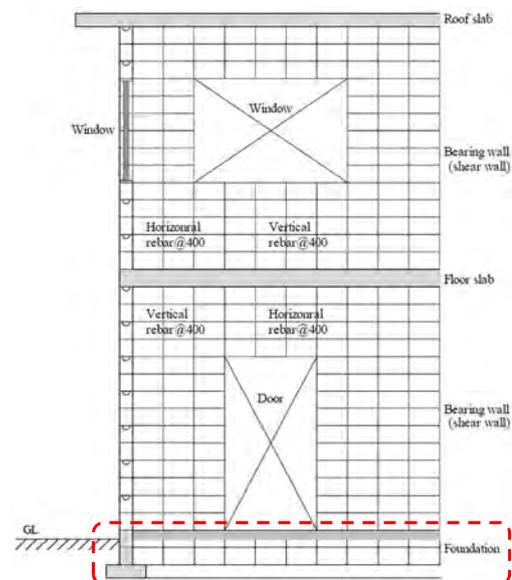
Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 4. Foundations

1. RC or equivalent continuous foundations shall be provided to support bearing wall lines of the 1st story.
2. The thickness of foundation wall shall not be less than the thickness of the bearing walls.

*Note:* Footing width and depth of foundations should be designed based on bearing properties of soil which can be based on NSCP Chapter 3 if data is not available.



**Fig.1** Outline of the Engineered RCHB Construction



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 5. Construction of Bearing Walls

1. Bearing walls shall be composed of CHB units of no less than 150mm in thickness and the length of each bearing wall shall be no less than 0.6m.
2. The height of bearing walls between the top and bottom supports shall not exceed 3m when using  $d_b=10\text{mm}$  vertical rebars and not more than 4m when using  $d_b=12\text{mm}$  vertical rebars.
3. The bottom of bearing walls shall be supported with either foundations, bearing walls, floor slabs or bond beams. The top of bearing walls shall be supported with either floor slabs, roof slabs or bond beams.
4. The bearing walls shall be reinforced with horizontal and vertical rebars, so that they can behave as shear walls.
5. The rebars shall be  $d_b=10\text{mm}$  that are spaced horizontally and vertically no more than every 0.5m.  
*Note:* It is recommended that the rebars at the end of walls and around openings are  $d_b=12\text{mm}$ .
6. The vertical rebars shall not be spliced at the middle part of walls.



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 5. Construction of Bearing Walls

7. The ends of vertical rebars shall be embedded into foundations, bond beams, slabs or bearing walls no less than  $30d_b$ , or can be spliced no less than  $30d_b$  with anchors that are embedded no less than  $30d_b$  into foundations, bond beams, slabs or bearing walls. The anchors can be replaced by post-installed anchors or rebars of  $d_b=12\text{mm}$  that is embedded at least  $10d_b$ .  
*Note:* Adhesive should be used for post-installed anchors or rebars.
8. The ends of horizontal rebars shall be hooked to the vertical rebars or spliced to adjacent horizontal rebars with no less than  $30d_b$  lapping.



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



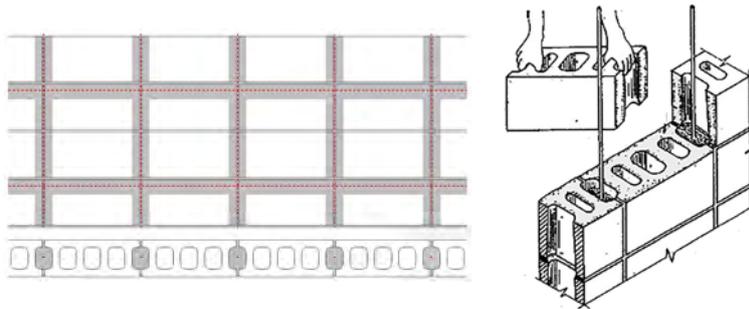
## Article 5. Construction of Bearing Walls

9. Hollows where horizontal and vertical rebars are placed shall be grouted.

*Note:* Hollows without rebars need not to be grouted (see Fig.4).

10. Rebars shall be covered by concrete or cement mortar no less than 30mm in thickness.

*Note:* The thickness may include the thickness of face shell or web of CHB units.



**Fig.4** Mortar grout, joint mortar and rebars



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered **Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB)** Construction in the Philippines



## Article 6. Installation of Bearing Walls

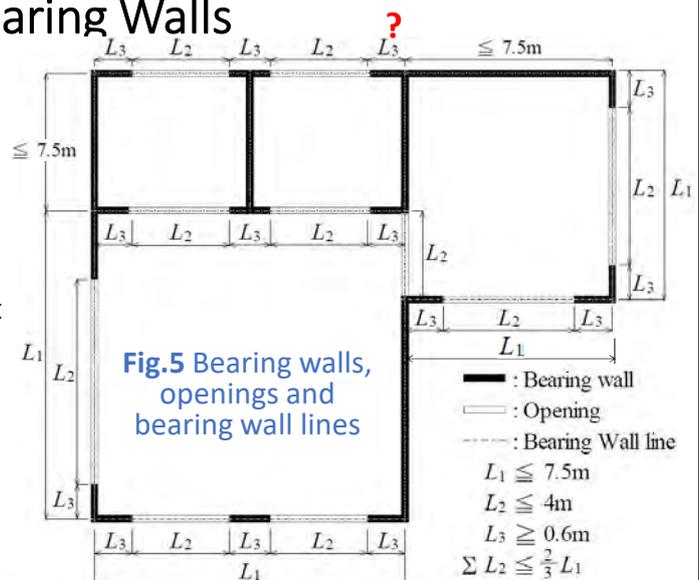
1. Bearing walls shall be installed in the entire building in balance horizontally and vertically.

*Note:* This requirement is usually realized, if Requirements of Items 2 to 6 of this Article are fulfilled.

2. Openings in bearing wall lines shall not exceed 4m in length. The sum of opening lengths shall be less than 2/3 of the bearing wall line.

*Note:* See Fig. 5.

3. The bearing wall lines shall be placed no more than 7.5m apart in X and Y directions.



**Fig.5** Bearing walls, openings and bearing wall lines



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered **Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB)** Construction in the Philippines



## Article 5. Construction of Bearing Walls

1. Bearing walls shall be composed of CHB units of no less than 150mm in thickness and the length of each bearing wall shall be no less than 0.6m.
2. The height of bearing walls between the top and bottom supports shall not exceed 3m when using  $d_b=10\text{mm}$  vertical rebars and not more than 4m when using  $d_b=12\text{mm}$  vertical rebars.
3. The bottom of bearing walls shall be supported with either foundations, bearing walls, floor slabs or bond beams. The top of bearing walls shall be supported with either floor slabs, roof slabs or bond beams.
4. The bearing walls shall be reinforced with horizontal and vertical rebars, so that they can behave as shear walls.
5. The rebars shall be  $d_b=10\text{mm}$  that are spaced horizontally and vertically no more than every 0.5m.  
*Note:* It is recommended that the rebars at the end of walls and around openings are  $d_b=12\text{mm}$ .
6. The vertical rebars shall not be spliced at the middle part of walls.



PROPOSED GUIDELINE :

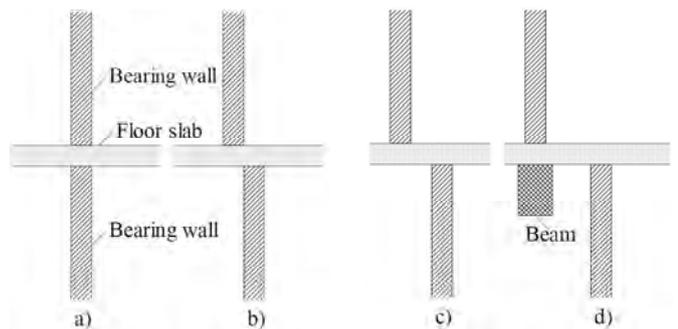
Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 6. Installation of Bearing Walls

4. The bearing wall lines of the upper story shall be on the bearing wall lines of the lower story. In case the upper and lower bearing wall lines are placed more than the thickness of the bearing wall, the safety of that part shall be confirmed by structural calculation.

*Note:* See Fig. 6.



Structural calculation is required for c) and d)

**Fig.6** Bearing wall and floor slab



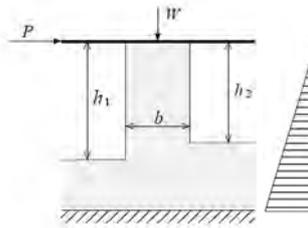
PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines

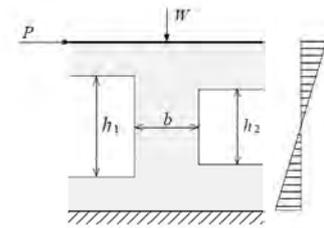


## Article 6. Installation of Bearing Walls

5. The wall ratio of each story for X and Y directions shall not be less than the value shown in Table 1. For the bearing wall that is inclined  $\theta$  from X or Y direction, the horizontal sectional area shall be multiplied by  $\cos^2\theta$ . In case the aspect ratio,  $r = h/b$ , of the bearing wall exceeds the critical aspect ratio  $r_c$ , the horizontal sectional area shall be multiplied by the reduction factor  $\beta$  in Table 2.



critical aspect ratio,  $r_c = 0.5$   
a) No bond beam on top



critical aspect ratio,  $r_c = 1.0$   
b) With bond beam on top

**Fig.7** Aspect ratio ( $h/b$ ) of bearing wall where  $h = \frac{h_1 + h_2}{2}$

Note: See Figs.7, 8 and 9.



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 6. Installation of Bearing Walls

6. The wall ratio of upper story shall include only the parts of bearing walls on the lower bearing walls.

**Table 1:** Required wall ratios of each story

Type of Building	1 <sup>st</sup> story	2 <sup>nd</sup> story	3 <sup>rd</sup> story
1-Story	1.20%		
2-Story	2.76%	1.46%	
3-Story	4.32%	3.20%	1.70%

Note: For different value of Z, The values in the table can be adjusted by multiplying it with the factor  $(Z/0.4)$

**Table 2:** Reduction factor  $\beta$  of bearing walls

Bearing wall stories	1	2	3
Critical aspect ratio $r_c$ (Fixed top wall)	0.5 (1.0)	0.91	1.1
Reduction factor $\beta$	$r_c/r$		



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines

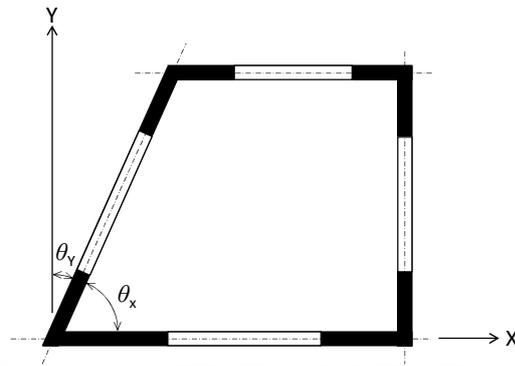


## Article 6. Installation of Bearing Walls

5. The wall ratio of each story for X and Y directions shall not be less than the value shown in Table 1. For the bearing wall that is inclined  $\theta$  from X or Y direction, the horizontal sectional area shall be multiplied by  $\cos^2\theta$ . In case the aspect ratio,  $r = h/b$ , of the bearing wall exceeds the critical aspect ratio  $r_c$ , the horizontal sectional area shall be multiplied by the reduction factor  $\beta$  in Table 2.

Note: See Figs.7, 8 and 9.

**Wall ratio:** The sum of horizontal gross sectional areas of bearing walls, including hollows but excluding openings, in X or Y direction divided by the floor area of the story concerned.



PROPOSED GUIDELINE :

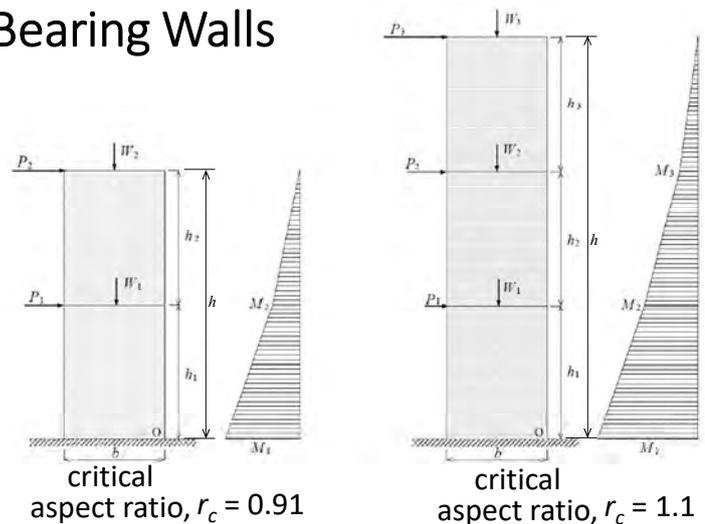
Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 6. Installation of Bearing Walls

5. The wall ratio of each story for X and Y directions shall not be less than the value shown in Table 1. For the bearing wall that is inclined  $\theta$  from X or Y direction, the horizontal sectional area shall be multiplied by  $\cos^2\theta$ . In case the aspect ratio,  $r = h/b$ , of the bearing wall exceeds the critical aspect ratio  $r_c$ , the horizontal sectional area shall be reduced multiplying reduction factor  $\beta$  in Table 2.

Note: See Figs.7, 8 and 9.



**Fig.8** Aspect ratio for 2 and 3-story bearing walls



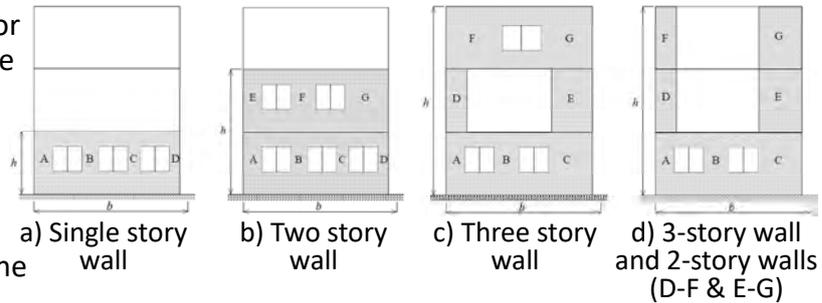
PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 6. Installation of Bearing Walls

5. The wall ratio of each story for X and Y directions shall not be less than the value shown in Table 1. For the bearing wall that is inclined  $\theta$  from X or Y direction, the horizontal sectional area shall be multiplied by  $\cos^2\theta$ . In case the aspect ratio,  $r = h/b$ , of the bearing wall exceeds the critical aspect ratio  $r_c$ , the horizontal sectional area shall be reduced multiplying reduction factor  $\beta$  in Table 2.



**Fig.9** Aspect ratio and reduction factor

1. Calculate aspect ratio for each wall (A, B, C, . . .), and determine reduction factor according to the aspect ratio of each wall.
2. Calculate aspect ratio ( $h/b$ ) of multi-story wall, and determine reduction factor according to the aspect ratio of the multi-story wall.
3. Reduction factor of 1 or 2 to reduce the most is used.

*Note:* See Figs.7, 8 and 9.



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 6. Installation of Bearing Walls

6. The wall ratio of upper story shall include only the parts of bearing walls on the lower bearing walls.

Table 1: Required wall ratios of the story

Single story Buildings	2 story buildings	
	1 <sup>st</sup> story	2 <sup>nd</sup> story
1.20%	2.76%	1.46%

3 story buildings		
1 <sup>st</sup> story	2 <sup>nd</sup> story	3 <sup>rd</sup> story
4.32%	3.20%	1.70%

*Note:* The values in the table can be adjusted by multiplying the Z value divided by 0.4.

Table 2: Reduction factor  $\beta$  of bearing walls

Bearing wall stories	1	2	3
Critical aspect ratio $r_c$ (Fixed top wall)	0.5 (1.0)	0.91	1.1
Reduction factor $\beta$		$r_c/r$	



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



## Article 6. Installation of Bearing Walls

6. The wall ratio of upper story shall include only the parts of bearing walls on the lower bearing walls.

**Table 1:** Required wall ratios of each story

Type of Building	1 <sup>st</sup> story	2 <sup>nd</sup> story	3 <sup>rd</sup> story
1-Story	1.20%		
2-Story	2.76%	1.46%	
3-Story	4.32%	3.20%	1.70%

Note: For different value of Z, The values in the table can be adjusted by multiplying it with the factor  $(Z/0.4)$

**Table 2:** Reduction factor  $\beta$  of bearing walls

Bearing wall stories	1	2	3
Critical aspect ratio $r_c$ (Fixed top wall)	0.5 (1.0)	0.91	1.1
Reduction factor $\beta$	$r_c/r$		



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



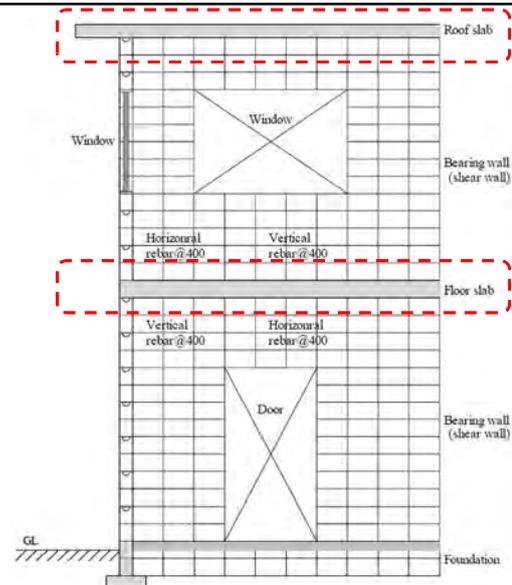
## Article 7. Floor and Roof Slabs

1. The floors shall be constructed with RC or equivalent slabs so that they can act as diaphragms to transmit horizontal forces to bearing walls.

Note: For example, RC slabs of no less than 100mm in thickness, steel deck slabs with no less than 50mm thick concrete, etc.

2. In case there is no diaphragm, a continuous bond beam shall be installed.

Note: Structural safety of bond beams without diaphragms should be confirmed through structural calculation against in-plane and out-of-plane loads.



**Fig.1** Outline of the Engineered RCHB Construction



PROPOSED GUIDELINE :

Engineered Reinforced Concrete Hollow Block (RCHB) Construction in the Philippines



### 3. 4 CHB 帳壁の構造規準(案)

#### 1条 適用範囲

1. 本規準は CHB 帳壁に適用する。
2. 構造計算または特別な調査研究に基づいた場合は、本規準の一部を適用しないことができる。

#### 2条 用語

帳壁: 構造耐力を負担しない壁の総称  
一般帳壁: 向かい合う(通常上下の)2 辺で支持される帳壁(図 1 の A,B,C)  
小壁帳壁: 片持となる帳壁(図 1 の D,E,F)  
主体構造: 帳壁を支持する構造体  
主要支点(間距離): 一般帳壁を支持する向かい合う 2 辺(の距離、図 1 の H)  
持出し(長さ): 小壁帳壁の固定辺から自由辺まで(の長さ、図 1 の L)  
主筋: 主要支点間方向または持出し方向の鉄筋  
配力筋: 主筋と直交に配置する鉄筋

図 1 の壁 A,B,C は一般帳壁、壁 D,E,F は小壁帳壁で、図 1 の黒太線は主要支点と小壁帳壁の固定端である。

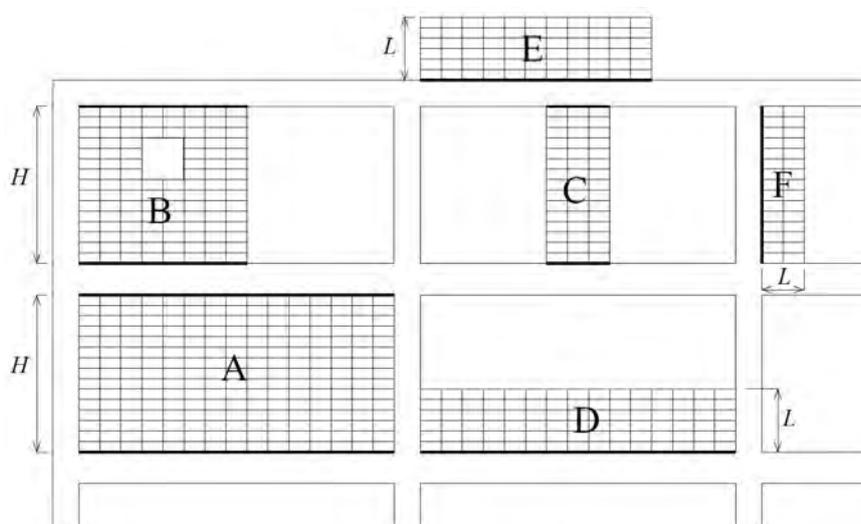


図 1 一般帳壁(A,B,C)と小壁帳壁(D,E,F)  
(黒太線が帳壁を支持する辺)

#### 3条 設計の原則と構造計算

1. 帳壁は自重、壁面直交に作用する地震力・風圧力に安全かつ主体構造から脱落しないように設計する。

2. 本規準の規定を構造計算によって緩和する場合は下記による。
  - 1)一般帳壁は主要支点で支持されていると仮定して応力を求める。
  - 2)小壁帳壁は片持壁と仮定して応力を求める。
  - 3)帳壁の断面算定は CHB の引張強度を無視した曲げ理論による。
  - 4)帳壁に作用する地震力の水平震度は 0.5 以上、小壁などに対しては 1.0 以上とする。
  - 5)外部帳壁に作用する風圧力は地上面からの高さ、予想される風速などから算定する。

本規準は通常の建築物に作用する地震力や風圧力に対して問題が生じないような規定となっている。本規準を緩和する場合、基準の適用範囲を超える場合などは、構造計算によって適用を緩和または拡大してもよい。

#### 4条 材料の品質

1. 帳壁に作用する CHB は B 種(実圧縮強度 12MPa、公称圧縮強度 6MPa)と同等以上のものとする。
2. 鉄筋は降伏点強度 230MPa 以上のものとする。
3. 目地に用いるモルタルまたはコンクリートの設計強度は 18MPa 以上とする。

#### 5条 帳壁の厚さと規模

1. 帳壁に用いる CHB ユニットの厚さは 150 mm 以上とする。
2. 帳壁を外壁に用いる場合、その高さは地盤面から 20m 以下とする。
3. 帳壁の主要支点間距離は 3.5m 以下、地下階では 4.2m 以下とする。
4. 小壁帳壁の持ち出し長さは 1.6m 以下とする。

外壁が地震力や風圧力で損傷し壁の破片が落下して外部に被害が広まらないように高さ 20m と規定している。なお、高さ 20m を超えると風圧力が本規準で考えているより大きくなることがある。

なお、建物内部に用いる床面から高さ 1.2m 程度以下の小規模な造作などには厚さ 120 mm または 100 mm の CHB を用いてもよい。

#### 6条 帳壁の接合と配筋

1. 帳壁は主体構造に接合する。
2. 主筋と配力筋は主体構造に定着する。
3. 主筋と配力筋の定着にあと施工アンカーを用いてもよい。
4. 帳壁によって RC 造柱が短柱とならないように配慮する。
5. 帳壁の主筋は  $d_b=10$  mm 程度以上@500 mm 程度以下とする。
6. 配力筋は  $d_b=10$  mm 程度以上@800 mm 程度以下とする。
7. 帳壁の開口の周囲には  $d_b=12$  mm 程度以上の鉄筋を配する。

主筋は  $d_b=10$  mm程度以上@500 mm程度以下としたが、これは部分的に 400 mmを超えても差し支えないことを意味している。また鉄筋もフィリピンの規格のものを採用することを考え  $d_b=10$  mm程度以上としている。なお、表 1 を参照すると、高さ 3.5m の場合、主筋を  $d_b=10$  mm、間隔 400 mmとすると水平震度は 0.55 程度までとなる。

表 1 面外水平震度による主筋に応じた一般帳壁の高さ

面外水平震度		1.0		0.7		0.5	
縦主筋間隔		400 mm	800 mm	400 mm	800 mm	400 mm	800 mm
縦主筋の種類	$d_b=10$ mm	2.61m	1.84m	3.11m	2.20m	3.68m	2.61m
	$d_b=12$ mm	3.12m	2.21m	3.73m	2.64m	4.42m	3.12m

図 2a)のラーメン構造に b)のように帳壁を入れると、地震力や風圧力に対する面内耐力は大幅に上昇するので、構造的に好ましい。しかし、大きな水平力を受けると c)のように斜めにひび割れが発生し、地震力は左右から作用するためひび割れは X 状に生ずる。地震力が大きくなると、帳壁に被害が生じ落下することもあり、これを防ぐために縦横に鉄筋を入れる必要があり、また鉄筋が容易に主体構造から抜け出さないように定着することも必要となる。

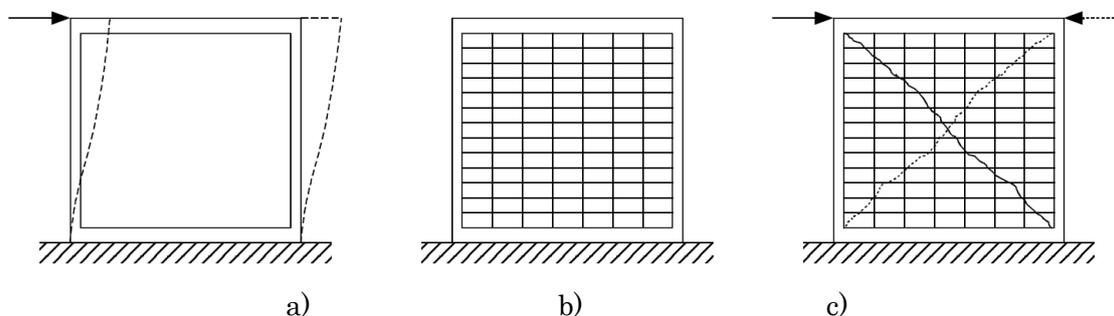
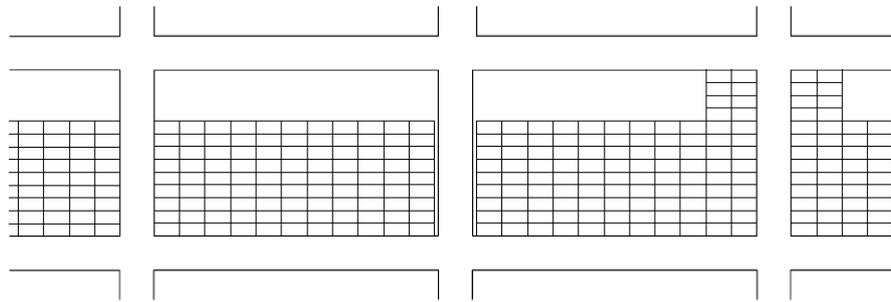


図2 帳壁(挿入壁)の水平力に対する効果と被害

RC 造架構の小壁帳壁は柱を拘束することになる。例えば、図 3a)の柱の変形は小壁の上端から梁下に集中し、柱の  $h_o/D$  ( $h_o$ : 柱のクリア高さ、 $D$ : 柱の成、図 4) が 2 以下(極短柱)となり、その柱には非常に脆いせん断破壊が生じやすくなる。これを防ぐため、b)の柱のように帳壁と柱の間に隙間(構造スリット)を入れることもある。また、c)の柱のように柱際の小壁帳壁を一般帳壁となるようにすることも考えられる。いずれにしても、帳壁が主体構造に悪影響を及ぼさないように、また被害が生じても大きな破壊に至らないようにする配慮が必要である。



a)                      b)                      c)

図3 小壁帳壁と主体構造の柱

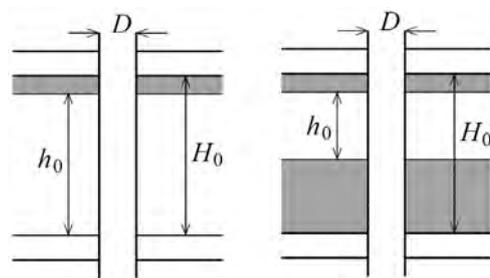
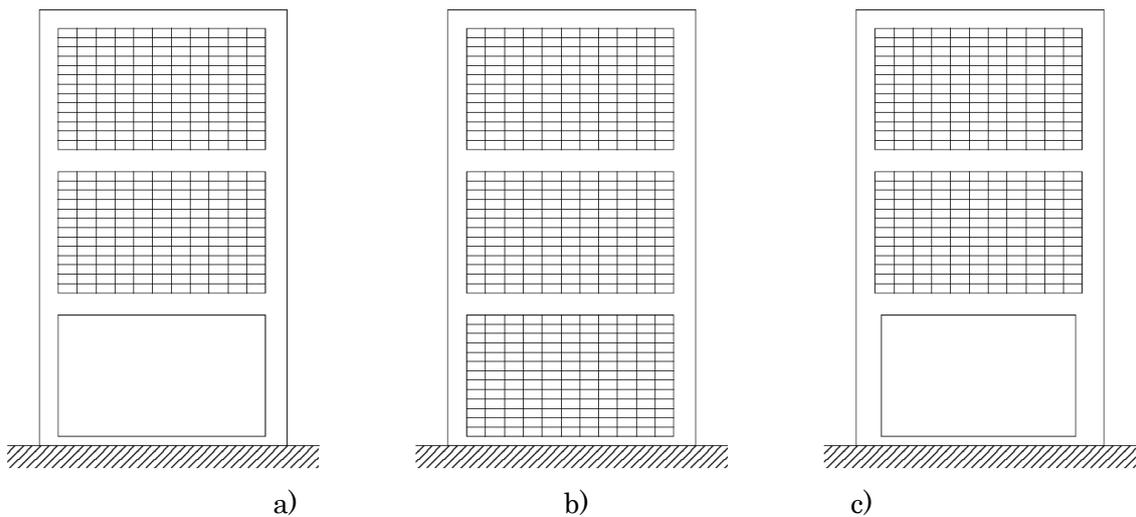


図4 柱の成  $D$ 、高さ  $H_0$  とクリア高さ  $h_0$

( $h_0/D \leq 2$  は極短柱)

図 5a)のように1階には帳壁がなく、上階に帳壁がある場合、地震動によって1階に変形が集中し1階の地震被害が大きくなり、このため1階が崩壊してしまう地震被害がしばしば見受けられる。これを防ぐため b)のように1階にも帳壁を設けることが好ましが、そのようなことが難しい場合には c)のように1階の柱の断面増大、強度・変形性能を上げておくことも良い方策である。



a)                      b)                      c)

図5 主体構造に及ぼす帳壁(挿入壁)の影響

7条 鉄筋の定着および継手

1. 一般帳壁の主筋は主要支点間に継手を設けない。
2. 小壁帳壁の主筋は継手を設けず、一端は主体構造に(主筋径を  $d_b$  として)長さ  $30d_b$  以上定着し、他の一端は開口周囲の鉄筋にかぎ掛けする。
3. 主筋端部と定着筋との重ね継手は  $30 d_b$  以上とする。
4. 定着筋の定着長さは  $30d_b$  以上とする。
5. 定着筋の代わりに用いるあと施工アンカーの直径は  $d_b=12 \text{ mm}$  以上とし、埋め込み長さは  $10d_b$  以上とする。

図 6a)のような等分布荷重を受ける壁に生ずる曲げモーメントと支点反力は、支持条件によって b)～e)のようになる。一般帳壁は d)のような場合を考え、中央部付近に主筋の継手を設けない。小壁帳壁は e)のような状態になるため、高さを 1.6m に制限している。d)の場合、主筋端部の引張力は 0 でせん断力のみが生ずるが、安全側に固定端と考えた場合の引張力も負担できる規定となっている。

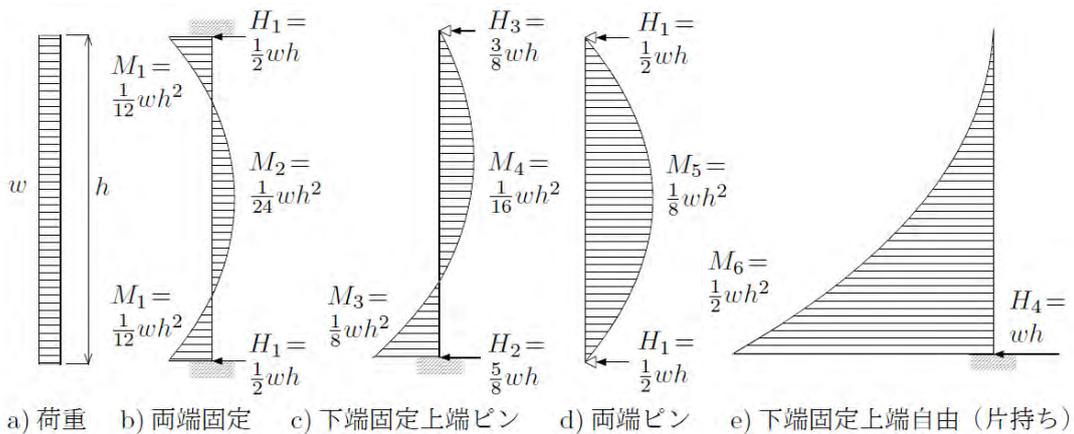


図 6 等分布荷重を受ける壁に生ずる面外曲げモーメント

8条 施工

1. 鉄筋の入る縦横空洞部と縦目地に接する空洞部にはモルタルまたはコンクリートを充填する。
2. 打込み目地を除き、CHB のフェイスシェル目地塗面は目地材によって隣接する CHB と接合されるように組積する。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会:「壁式構造関係設計規準集・同解説(メーソソリー編)」、2006.3

(石山祐二)

### 3.5 フィリピン製ブロックの物理特性試験

#### (1) 経緯と概要

本プロジェクトでは、フィリピンのブロック造を対象としてその構造安全性を向上させるべく、取り組まれている「フィリピン国耐震塗料による構造物耐震強靱化にかかる案件化調査」(JICA による中小企業 SDGs ビジネス支援事業のうち中小企業支援型により実施)と連携、協力をしている。同プロジェクトでは、耐震塗料の効果を実証するための振動台実験を実施することとしており、その試験体を製作するために、フィリピンで製造されたコンクリートブロックを輸入した(写真 3.5.1)。本プロジェクトでは、同プロジェクト関係者の厚意により、その残余を譲り受けることができた。これにより、実際のフィリピン製のブロックについての物理特性の把握を行うことができた。譲り受けたブロックは、幅の異なる 2 タイプで、その概要は下記のとおり。

輸入されたブロックは、振動台実験を行う茨城県つくば市国立研究開発法人防災科学技術研究所に送られた。そこで残余のブロックを譲り受け、本プロジェクト側で物理特性試験を実施する北海道恵庭市のよねざわ工業に輸送し、同社により、形状、圧縮強度などの物理特性試験が行われた。

#### \*フィリピン製ブロックの概要

メーカー: Bataan 州 Balanga 市の Stanford Trading 社製

ブロックタイプ: 下記の 2 タイプ

##### ①Load-bearing masonry unit (構造用組積材)

寸法(幅、長さ、高さ): 140、400、195(通称 幅 6 インチタイプ)

##### ②Non-load-bearing concrete masonry unit (非構造用組積材)

寸法(幅、長さ、高さ): 95、400、205(通称 幅 4 インチタイプ)



写真 3.5.1 Stanford Trading 社における日本向けのブロックの梱包作業

## (2) 物理特性試験結果

フィリピン製の空洞コンクリートブロック(以下 CHB と表記) (写真 3.5.2)、日本製 CHB の JIS 規格品、火山灰(本文では粒径 2 mm 以下と定める)を骨材とする試作品を取り上げ、それぞれの物性試験を行い、比較表(表 3.5.1)を作成した。

フィリピン製 CHB は、現地の試験機関(公共事業道路省研究・基準局)で発行された試験表(f-1a,f-1b)と、同じ生産者の製品を輸入し、これを日本国内で試験(f-2a,f-2b)をして比較した。また、フィリピンの構造用規格に近似する CHB として、日本国内 JIS 製品の B 種を選択し、比較表に載せた。

フィリピンマニラ近郊は、豊富な火山灰が骨材として利用されるなどの事情もあり、資源活用の策として、類似する火山灰を原料とする CHB を国内で試作し比較表に載せた。



写真 3.5.2 試験前のフィリピンの CHB (左 4in、右 6in)

## (3) フィリピン製空洞ブロック試験の考察

### ① 試験体サンプリング、配合について

- (ア) 当社に搬入時の製品の破損が目についてが、特に 4in(4 インチ形)CHB 製品には、掴んで持ち上げるだけで崩れる製品もあった。その原因として生産施設の面では、成形時におけるイバリや変形の放置、成型機やモールドボックスの整備不良などが推測される。
- (イ) 示方配合におけるセメント配合量が過少なことや水セメント比が過大なこと、骨材の粒度分布のバランスが悪い(FM 値が 2 程度かそれ以下)ことが原因と考えられる。またバックヤードといわれる零細事業者は、火山灰の微粉末をカットした天然軽量骨材も流通しているが、コストアップになるので、採掘時の火山灰をそのまま混練りし、生産しているのが実態である。
- (ウ) 寸法精度:フィリピン製 CHB の外観が目視でも膨らみの判るものがあり、寸法精度に懸念を感じた。事実、厚さ 4in ブロックは、寸法精度が悪く形状が不揃いだった。製品外形寸法の規格は、フィリピン国内の代表的大手生産者のカタログに表示されているもの(表 3.5.1 欄外 8)として、試験結果を考察する。すべての実測寸法が、規格値よりも大きいのが、特に高さ寸法は+15 mm平均、最大+20 mmと大きな誤差を示している。厚さについても+

13 mm平均、長さは+14 mm平均であった。日本における JIS A 5406 規格品(以下 JIS 品という)が、 $\pm 2$  mmであることから、品質管理の差が際立っている。

この様な寸法誤差は以下の要因により、脱型時に変形量が大きくなると思われる。

- ・性能不足あるいは整備不良の成型機で生産する場合
- ・加水量を多くして軟練り状態で成形する場合
- ・火山灰の微粉末などが過度に配合されている場合

見方を変えると、価格競争が厳しいので、寸法精度が軽視され、コストカットを優先していることが根底にあると思われる。現状として、ユーザー側もこれを享受し、CHB 面のモルタル塗り仕上げが一般化している。

## ② 圧縮強さ試験について

- (ア)フィリピン製 CHB に関するデータから、DPWH における試験表と日本側(よねざわ工業)における試験結果を対比すると、4inCHB には大きな差があり、6inCHB では同等程度と判断できる結果となった。4inCHB は当初から脆さを露呈していたが、正味断面積圧縮強さの結果は、平均  $1.2\text{N/mm}^2$ (非構造 CHB のフィリピン規格平均値  $4.14\text{N/mm}^2$  に対し 29%)だった。あまりに低い数字なので、丁寧にキャッピングして再試験を実施した。しかし、ばらつきは少なくなったが平均  $1.2\text{N/mm}^2$  と同じ結果となったので、これが実体の数字と判断できる。これは、フィリピンのバックヤードで生産されている品質に相当する。
- (イ)6inCHB は、正味断面積圧縮強さの平均試験値が、日本側で  $3.8\text{N/mm}^2$  が DPWH の試験値  $2.61\text{N/mm}^2$  の 1.5 倍弱と大きくなっていた。この程度の品質のばらつきなのか、キャッピングの違いなのかは、判断がつかない。非構造規格値比で平均値が 93%、単体では 3 個のうち 2 個が合格と値のブレ幅が大きい傾向だった。一方で、構造用規格平均値  $13.8\text{N/mm}^2$  に対しては、日本側の試験値  $3.8\text{N/mm}^2$  でも、27.5%(DPWH では  $2.61\text{N/mm}^2$  で 19%)とかなり低い値であり、構造用としては採用できない結果である。対比として JIS 品 B 種の厚さ 100 mmと 150 mmを試験して表に示したが、フィリピン規格の構造用に合格している。
- (ウ)最大荷重が JIS 品と比べて、約 1/4 程度と大きな差が生じている。DPWH の試験結果よりも、平均値で 50%程度大きい、最小値は近い値なので、日本側の試験との整合性はあると判断できる。JIS 品と比べてフィリピンの CHB が、最大荷重値が大きく振れていることが、品質管理の質の悪さを示している。フィリピンの CHB は圧縮試験時に加圧と共に、ヒビの発生及びその成長が目視で確認できた。試験したすべての製品で、最大荷重を過ぎても瞬時に圧壊せず、音を立てずに崩れるように破壊をした。結合材(モルタルペースト)の品質が悪く、糊の役目を果たしていないと判断できる。

## ③ 吸水性に関する試験について

- (ア)製品表面(フェイスシェル)の外観は、表中の f-1a,f-1b 共に、ほぼ同等のセメントペースト

の状態であり、緻密さにおいてもほぼ同等と判断できる(製品の吸水率参照)。

(イ)吸水性は、フィリピンにおける試験では容積吸水量で定めており、概算値として容積吸水率を()内に示した。日本国内における試験では、容積吸水率を算出してから容積吸水量を()内に示した。結果として誤差は少なく、JIS 品も含めて一定の範囲に収まっている。なお、JIS 品の規格で、B 種が質量吸水率20%以下と定めている。

④ マニラ近郊の骨材事情を考慮し、国内火山灰を活用した CHB の試作

最大荷重、正味断面積圧縮強度をみると、日本国産 CHB の B 種はフィリピン規格の構造用 CHB にほぼ適合している。このブロックは天然軽量骨材(樽前山系火山礫 径 10mm アンダー)を主原料としている。しかし、フィリピンのマニラ近郊に無限に埋蔵する火山灰は、粒度がかなり細かく(粒径 0.5 mm以下の割合が多い)同様の配合は難しい。試作 CHB はフィリピンの火山灰を骨材に活かすことを想定し、恵庭岳系火山灰(60%)、砕砂・砂(40%)を主原料として CHB(写真 3.5.3)を製造し、試験データ(j-2)を求めた。示方配合をセメント量 330 kg/m<sup>3</sup>とすることで、JIS 品 B 種に相当する強度を確保できた。

今後の課題として、セメント量の削減、現地の骨材事情に合わせた適切な骨材配合や生産効率の検討によりコストダウンを図ることが必要である。

これらの是正を段階的に進捗させることで、フィリピン国内において、火山灰を主原料とする CHB の実用化は、十分可能と考えている。



写真 3.5.3 火山灰を原料とした試作 CHB-t150

