

フィリピン・マリキナ市における枠組組積構造Non-Engineered住宅の耐震安全性に関する考察

Seismic Safety Evaluation for the Non-Engineered Housings in Marikina City, Philippines

田中聡¹, 水越熏², 大森達弥², 堀江啓³, 藤原秀樹⁴, 卜部兼慎⁵, 牧紀男³, 林春男⁶, 田村圭子⁶

Satoshi TANAKA¹, Kaoru MIZUKOSHI², Tatsuya OHMORI², Kei HORIE³, Hideki FUJIWARA⁴, Kazunori URABE⁵, Norio MAKI⁶, Haruo HAYASHI⁶, and Keiko TAMURA

¹ 富士常葉大学環境防災学部

College of Environment and Disaster Research, Fuji Tokoha University

² (株)イー・アール・エス

Engineering & Risk Services Co.

³ 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, NIDE

⁴ システム計測 (株)

System Measure Co.

⁵ ジイケイ京都 (株)

GK Kyoto Co.

⁶ 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

In the past earthquake disaster, the RC frame with masonry wall structure is proved to be seismically vulnerable to cause a number of casualties due to the collapse of the structure. This research is focusing on such structure for improving the quality of construction in the City of Marikina, Philippines. At first, the current construction method and structural details are investigated, and the loading experiments are carried out for estimating the seismic capacity of current construction. Based on the experiment results, a better construction method is developed to improve their seismic capacity, and the loading experiment is carried out again for demonstrating the effects of the improvement.

Key Words : non-engineered housings, RC frame with masonry wall structure, loading experiment, seismic safety

1. はじめに

現在、アジア・太平洋地域の都市部において、建設技術者が建設に関わらないために、その耐震性がきわめて低いと考えられている、いわゆるNon-Engineered住宅の存在は、防災上、緊急的に検討しなければならない課題の一つである。特に発展途上国においては、単に過去に建設された住宅の耐震化の問題だけでなく、現在も次々と、これら不良ストックが建設され続けている点や、無秩序に上層階の増築を重ねている点にこの問題の深刻さがある。これらNon-Engineered住宅の中でも、RCのフレームに壁としてブロックを積み上げた構造形式（枠組組積構造、以下RCFM造と記す）を用いた2-3階建て住宅は、庶民住宅として東南アジアから西アジア地域に広く普及しているが、一方で過去の地震災害において多くの被害が発生している。特に、都市部における低所得者層のRCFM造住宅は、構造設計上のみならず施工上も多くの

問題点をかかえていると認識されているにも関わらず、その実態はほとんどあきらかにされていない。

この問題への解決の糸口を探るために著者らは昨年、フィリピン国マニラ首都圏マリキナ市の再定住地をフィールドに、これらNon-Engineered住宅に関する基礎的な調査をおこなった。その結果、これら耐震性の低い建物が建設される背景には、経済的貧困以外に、制度的・技術的な要因が複雑にからみあっているシステムの問題として考えるべきであることがあきらかになった¹⁾。

本研究では、同マリキナ市における一つの典型的なRCFM造Non-Engineered住宅をとりあげ、その建設プロセス・耐震性能の評価をもとに、現地に受け入れ可能な耐震性能向上策の提案を目的とする。そこでまず、これら住宅の建設の全過程の観察ならびに建設業者へのインタビュー調査を通して、Non-Engineered住宅の建設プロセスの中にみられる構造設計・施工上の問題点について検討をおこなった。次に、これら住宅の水平載荷実験を

ートブロック(CHB)である。建設現場ではこれら材料の保管状態が悪く、特に鉄筋は使用時に大量の赤錆が発生していた。コンクリートの調合は現場でおこなわれ、セメント1袋40kgあたりに0.027m³の容器を用いて粗骨材を3杯、細骨材を3杯の割合で混合する。水は目分量で加水しており、コンクリートの練り上がり状態はスランプ値の測定が不能ほど多量の水を含んでいた。

主な材料の強度試験を実施した。その結果を表3に示す。特にコンクリート強度はきわめて低く、またテストピースによるばらつきも大きい。これは練り混ぜ時の水量管理が不十分なことに起因すると考えられる。

表3 材料強度試験結果

コンクリート			CHB	
棟	材令 (Days)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N)	全断面応力 (N/mm ²)
N1	9	8.41	35200	1.89
		4.87	45200	2.43
		5.73	43200	2.32
	28	7.9	42500	2.28
		3.41	58800	3.16
		3.7	51000	2.74
N2	9	2.94	短辺方向の全断面圧縮試験 CHB寸法: 15-5/8×3-1/2×8-1/4(in.)	
		3.65		
		3.12		
	28	7.81		
		5.87		
		6.95		

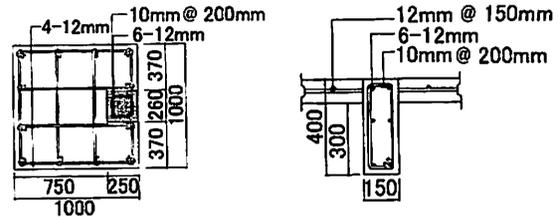
鉄筋

公称径	降伏点 (N/mm ²)	破断強度 (N/mm ²)	伸び率 (%)
D12	290	423	25.8
	294	422	27.3
	284	428	23.4

(3) 構造詳細

以下に工程に従って、各部位の構造の詳細を列記する。

- 基礎：独立基礎形式で、6本の柱部分に約1mの深さの穴を掘り、約1.0m×1.0mの大きさのフーチングを構築して建物を支持する。各フーチング間には有筋の地中梁で接合されている。
- 1階壁：壁縦筋は1スパン内に3本ずつ挿入されている。また、横筋はCHBを3段積む毎に配筋されている。重ね継手を用いていたが、継ぎ手長さが200mm程度の場合があり十分ではない。図2の平面図をみるとキッチン側の短辺方向の壁芯が柱梁フレーム内に収まっていない。
- 1階柱：配筋図を図3に示す。主筋は6-D12で、帯筋はD10@200である。帯筋端部は90度フックが用いられていた。柱の断面が小さく、またそれにより十分な鉄筋のかぶりの確保ができていないため、耐震・耐久性上の検討を要する。コンクリートの打設は、パイプレータや木槌を使用して十分に締め固めるといった事はせず、とくに柱の打設は約2.5mの高さを一度におこなったため、豆板が発生していた。
- 2階梁および床スラブ：図3の配筋図に示しており、梁主筋は6-D12でスターラップ筋はD10@200である。主筋の定着は柱内に落とし込まれておらず、接合する梁の中に折り曲げられており、その定着長さは200mm程度のものが含まれていた。また、梁はあらかじめ鉄筋を組み上げたものを設置していたが、柱の鉄筋幅と梁の鉄筋幅が同じであったため、梁を柱の間に落とし込むには、柱筋を折り曲げて鉄筋間隔を拡げる必要があった。



フーチングおよび柱断面 (ハッチ部分は柱断面)

梁断面

図3 配筋詳細図

- 2階壁：1階壁と同様である。
- 2階柱：1階の柱と同様であるが、次の建設資金を蓄えて3階を建設するまでは、3階スラブ下端レベルで工事が中断するため、3階梁・床スラブがなく、片持ち梁状態で柱が立っている。
- 屋根：木造の小屋組みと金属板で構成されており、軽量である。
- その他：室内の壁は天井に接合されておらず、地震時には転倒、崩落の危険性が高い。

(4) インタビュー調査

建設作業者の「建設工事に対する基本的な考え方」「習慣」「知識」「経験」を知ることによって、彼らをもつ建設作業に関する暗黙知について系統的にあきらかにするために、本工事の建設作業員、およびこの地区在住の建設作業員にインタビュー調査をおこなった。インタビュー内容は、大きく2つの部分に分かれており、前半は構造化した質問をおこない、後半はオープンな質問を中心に聞き取りをおこなった。

構造化した質問項目については、表4に示すように、個人属性・建設作業・建設技術に関して事前に構造化した質問を用意しておき、Foreman, Worker それぞれに対して、質問者1人と通訳1人でインタビューにあたった。一人あたりのインタビューは、平均1時間程度であった。

a) Foreman への構造化インタビュー

現地のForeman 12人に対してインタビュー調査をおこなった。インタビュー対象者の特徴を見ると(表5)、平均年齢43.1才、全員男性であった。

対象者の出身地は、マニラ首都圏が1名、その他は地方出身者であった。建設業に就いた年齢は、10・20才代がもっとも多く(92%)、その平均年齢は20.7才であった。それに比してForeman になった年齢は、20才代6人、30才代2人、40才代1人とばらつきが見られ、その平均年齢は20.9才であった。建設業についてからForeman になるまでの年数で見ると、最短の人で1年、最長で20年かかっていた(平均9.1年)。

「どのようにしてForeman に必要な技術を学びましたか」の質問には、「仕事をしながら学んだ」と答えた人が11人(92%)だった。キャリア・パスは大きくわけて2つ存在しており、①ビル建設などの企業の現場で働きながら技術を学び独立、②父・叔父などの血縁がForeman をしておりその仕事を手伝いながら技術を学び独立、であった。Foreman となるまでに、Painter(1人)、配管工(1人)、Labor(5人)、Mason(1人)、Carpenter(9人)などの仕事を経験していた。

2003年1年あたりの仕事量は、住宅の建設2~5軒(平均2.9軒)であった。しかし1ヶ月ほどで完成する個人住

表4 主な質問項目

Foremanへの主な質問項目

個人属性		建設作業について	建設技術について
1	名前	9 Foremanとして仕事の内容は(個人住宅建設は何軒/年)	16 地震について知っているか?
2	年齢	10 個人住宅の建築の仕事の進め方は、どのようなものか	17 どこでForemanの技術を学んだのか
3	性別	11 家を設計する際に、大切にしていることは何か	18 あなたがForemanとして、建築してきた家は地震に対して、強いと思うか、弱いと思うか? その理由
4	居住地	12 家の設計に関して、施主の意見によってデザインを変更ことはあるか	19 地震に強い家をたてることのできる新しい技術に興味はあるか
5	出身地	13 他のグループと比べて、建て方は同じか。異なるならその箇所は?	20 今度家を建てる際に、新しい技術を用いて、家を建ててみたいと思うか
6	家族構成	14 家を建設する際に、防災面について配慮したことはあるか	21 従来より費用も手間もよりもかかるが、それでも新しい技術を用いて、家を建設したいと思うか。どの程度の費用増加なら許容できるか?
7	職歴	15 何人のWorkerを使っているか	22 どのようにすれば耐震性が向上すると思うか
8	収入(週/月/年収)		23 もし自分が新しい技術を取得したら、仕事は増えると思うか

Workerへの主な質問項目

個人属性		建設作業について	建設技術について
1	名前	10 いつもいっしょに仕事をするForemanは何人いるのか	18 地震について知っているか?
2	年齢	11 あなたの役割は、①Assistant Foreman, ②Skilled Worker, ③Laborのうちどれか?	19 どこでその技術を学んだのか?
3	性別	12 2で②の場合、Mason、大工、石積み、電気工、配管工のいずれか?	20 あなたがWorkerとして、建築してきた家は地震に対して、強いと思うか?弱いと思うか?その理由
4	居住地	13 個人住宅の建築の仕事の進め方は、どのようなものか	21 現在住んでいる家は地震に対して、強いと思うか、弱いと思うか?その理由は?
5	出身地	14 Foremanの指示はどの程度細かいところまで出るのか	22 今度家を建てる際に、新しい技術を用いて、家を建ててみたいと思うか
6	家族構成	15 自分のやり方で仕事をすすめることは可能か	23 従来より費用も手間もよりもかかるが、それでも新しい技術を用いて、家を建設したいと思うか。どの程度の費用増加なら許容できるか?
7	職歴	16 仕事の進め方について、Foremanに自分の意見を言うことがあるか	24 どのようにすれば耐震性が向上すると思うか
8	収入(週/月/年収)	17 家を建設する際に、防災面について配慮したことはあるか	25 もし自分が新しい技術を取得したら、仕事は増えると思うか

表5 インタビューをしたForemanの属性

性別	男性	12人 (100 %)	Foremanになった年齢	10才代	0人 (0 %)
	女性	0人 (0 %)		20才代	6人 (50 %)
年齢	10才台	0人 (0 %)	30才代	2人 (17 %)	
	20才代	0人 (0 %)	40才代	2人 (17 %)	
	30才代	4人 (33 %)	50才代	0人 (0 %)	
	40才代	6人 (50 %)	60才代	0人 (0 %)	
	50才代	2人 (17 %)	不明	2人 (17 %)	
	60才代	0人 ()			
	不明				
出身地	マニラ首都圏	1人 (8 %)	建設業についてからForemanになるまでの年数	1~5年	1人 (8 %)
	マニラ首都圏以外	11人 (92 %)		5~10年	6人 (50 %)
				11~15年	2人 (17 %)
				15~20年	1人 (8 %)
				不明	2人 (17 %)
建設業についた年齢	10才代	6人 (50 %)	Foremanとしての収入(1日あたり)	350ペソ	2人 (17 %)
	20才代	5人 (42 %)		375ペソ	2人 (17 %)
	30才代	1人 (8 %)		400ペソ	1人 (8 %)
	40才代	0人 (0 %)		450ペソ	3人 (25 %)
	50才代	0人 (0 %)		500ペソ	2人 (17 %)
	60才代	0人 (0 %)		不明	2人 (17 %)

宅から半年かかるアパートまでさまざまな仕事にかかわっているため、軒数で一概に仕事量を記述することはできない。収入は、週単位で350~500ペソ(平均420ペソ)であるが、個人住宅やアパートをまとめた戸数建築する「大きなプロジェクト」にかかわると、収入は月単位で1200ペソから40000ペソとなっていた。一方、仕事がない場合は、Labor, Mason, Carpenterとして他の現場にでかけることもあり、収入はなかなか安定しないことが

わかった。

仕事の手順について、「他のグループでも同じ建て方をしているか」の質問に対しては、材料・デザインは若干違うが基本的には「同じ」と答えた人が7人(58%)、「違う」が3人(25%)、回答なし2人(17%)であった。

仕事において優先することは、「予算」を含めた「顧客満足」をあげた人が9人(全体の75%)、「構造(柱・梁・鉄筋)」と答えた人が3人、「サイズを間違えない

こと」2人、その他であった。では、実際に施主の希望によって、デザインを変更する場合は、全員が「流しやトイレ、入り口の位置のみで、構造体の変更はしない」と回答している。

「家を建てる際に、どのような災害に配慮しているか」の質問に対しては、「地震」と答えた人は3人(25%)、「その他の災害(水害、犯罪、火災など)をあげた人」が8人(67%)、「考慮していない」とした人が1人であった。災害の対策としては、「基礎を丈夫に」4人、「図面に忠実に(防災対策は Engineer の仕事と考えている)」2人、「地中梁をいれる」2人、その他2人であった。「自分の建てた家は地震に強いと思うか」の質問に対しては全員が「強い」と考えており、その理由としては「今まで地震で壊れていない」(58%)、「図面どおりに建てているから大丈夫」(17%)、「基礎が深い」(8%)、「フィリピンの耐震基準に沿っている」(8%)であった。

本研究が紹介する改良工法については、「興味あり」「学んでみたい」「使ってみたい」とする人が全体の75%を占めた。新しい技術の導入に伴うコストの増加については、「従来と同じ建築費に抑える必要あり」とする人が8%、「従来の建築費の1.5倍」(58%)「従来の2倍」(25%)まで可とする人が全体の83%を占めた。

b) Worker への構造化インタビュー

現地の Worker 19 人に対してインタビュー調査をおこなった。インタビュー対象者の特徴を見ると(表6)、平均年齢38.3才、全員男性であった。

職種別に見ると、Labor の平均年齢は30才、Skilled Worker の平均年齢は43.2才とかなり開きがある。建設業についてからの年数も、Labor では5年以下が71%であるのに対し、Skilled Worker では、10年以上が67%と多いため、一方、Labor から Skilled Worker になるまでの年数はほとんどの人が5年以下(75%)であった。

いつも一緒に仕事をする Foreman の数では、Labor では、「5人以下」が4人(57%)と多いため、Skilled Worker では、「5-10人」が6人(50%)、「11人以上」が5人(42%)と、経験年数に応じてその数は増加する。

建設作業における Foreman の指示については、「サイズのみ、あるいは“掘れ”“練れ”などのおおざっぱな指示でやり方は自分で考える」が16人(84%)、「細かな指示がある」が3人(16%)で、個々の作業に Worker の技術の差が出やすいことがうかがえる。

「地震について知っているか」に対しては、「知っている」が10人(53%)であるが、小さな地震の体験がほとんどである。「知らない・体験がない」と答えた人が9人(47%)であった。

「自分の建てた家は地震に強いと思うか」の質問に対しては、「強い」15人(79%)、「どちらともいえない・わからない」4人(11%)であった。その理由としては「太い鉄筋を使っている」(32%)、「今まで地震で壊れていない」(16%)、「Class A のコンクリートを使用している」(16%)、「しっかりつくっている」(11%)であった。本研究が紹介する改良工法については、「興味あり」「学んでみたい」「使ってみたい」とする人が全体の74%を占めた。新しい技術の導入に伴うコストの増加については、「従来と同じ建築費に抑える必要あり」とする人が11%、「従来の建築費の1.5倍」(37%)「従来の2倍」(42%)まで可とする人が全体の79%を占めた。

表6 インタビューした Worker の属性

性別	男性	19人 (100%)
	女性	0人 (0%)
出身地	マニラ首都圏	4人 (21%)
	マニラ首都圏以外	15人 (79%)
Laborの年齢構成	10才代	0人 (0%)
	20才代	4人 (57%)
	30才代	2人 (29%)
	40才代	1人 (14%)
	50才代	0人 (0%)
	60才代	0人 (0%)
Skilled Workerの年齢構成	10才代	0人 (0%)
	20才代	0人 (0%)
	30才代	5人 (42%)
	40才代	4人 (33%)
	50才代	3人 (25%)
	60才代	0人 (0%)
Laborの建設業についてからの年数	1~5年	5人 (71%)
	5~10年	1人 (14%)
	11~15年	0人 (0%)
	15~20年	0人 (0%)
	不明	1人 (14%)
Skilled Workerの建設業についてからの年数	1~5年	1人 (8%)
	5~10年	2人 (17%)
	11~15年	2人 (17%)
	15~	6人 (50%)
	不明	1人 (8%)
建設業についてからSkilled Workerになるまでの年数	1~5年	9人 (75%)
	5~10年	0人 (0%)
	11~15年	0人 (0%)
	15~	0人 (0%)
	不明	3人 (25%)

c) インタビュー全般に関する考察

既述の Foreman, Worker への構造化した質問に対する結果と、インタビューの後半でおこなった聞き取り調査の内容から、特に耐震上重要であると考えられる建設技術の習得と伝達という側面に焦点をあてて考察する。

1) Foreman の仕事は「設計図」を読んで、Worker に指示を出すことである (Engineered house)

Foreman であるために必要な条件として、すべてのインタビュー対象者が「設計図を読むことができる」をあげていた。したがって現地における Foreman の仕事とは、図面を読んで Worker に指示を出すことであると規定できる。裏を返せば、建設現場では Foreman 以外の職人は、多くの場合図面が読めない事実を示している。設計図を画くのは Architect や Engineer の職務であり、Foreman の職務ではない。Architect や Engineer が参加している現場には、設計図が存在し、その結果、建築された建築物は Engineered なる。この時 Foreman が守らなければならないことは、図面通りに施工することであり、図面作成者が想定している品質の確保は Engineer の責任となる。また、Skilled Worker から Foreman への昇格を認めるのは、一緒に働いている Architect や Engineer である。「仕事をしながら技術を学んだ」とする Foreman が9割を超えていたことからわかるように、実際は、現場で Architect や Engineer といった専門技術者が Skilled Worker に図面の読み方を教えて、Foreman に昇格させていた。

2) 図面がない場合は、Foreman のスケッチに基づいて家が建てられている (Non-engineered House)

Non-Engineered 住宅とは、Architect や Engineer などの専門技術者が関わらない場合で、その設計は Foreman のスケッチだけである。このスケッチをもとに施主と建設の打ち合わせをやる。ここでは、予算、工期、構造、レイアウトなどが話し合われるが、平均1-2時間ときわめて短い。施主の予算によって材料を変更することもある。

3) Skilled Worker の技術認定の基準はあいまいである

Worker の職種は、一般的に単純労働の Labor から始まり、Mason/Carpenter へと昇進する。ここで昇進を認めるのは工事を担当する Foreman であり、客観的な技術審査があるわけではない。Labor は Mason や Carpenter などの Skilled Worker について仕事を覚え、Foreman に認められるとそれぞれの Skilled Worker になる。したがって、親類などに Foreman や Skilled Worker がいる場合は、直接技術を教えてもらえるため、昇進ははやい。このように技術認定の基準がないため、Labor から1年足らずで昇進する者もいれば、10年近く Labor のままである者も多い。一概に Skilled Worker といってもその技術の差がきわめて大きい。逆に、正しい技術を身につけた Skilled Worker がどの程度存在するのか、不明である。このため Foreman は、よく一緒に働く Skilled Worker がおり、いつも工事を請け負うときには、それらの Worker に声をかける。また Skilled Worker は単に技術を身につけているだけでは十分でなく、道具を所有し、工事現場に持参しなければならない。Carpenter の基本的な道具は約10種類、Mason のそれは約7種類程度である。この2つの道具群で重複する物も多い。道具の値段は彼らの収入から見ると比較的高価であり、すべて集めるには結構時間がかかるとのことであった。

4) Foreman の建設作業の管理はかなりおおざっぱで、仕事の質は Worker の技量に依存している

Foreman から Worker への指示は、場所やサイズを指定するだけの、かなりおおざっぱなものであった。個々の作業のやり方は Worker 自身が決める。したがって、個々の Worker の技術の差、技術の蓄積量の差が出やすい。

5) 強い建物をつくるための知識は、経験則による

建物の耐震性に寄与する事項に関する質問には、ほとんどの人が、1) 深い基礎、2) 地中梁をいれる、3) 太い鉄筋、4) コンクリートの調合にクラス A (セメント:砂利:砂=1:2:3) を採用、などの点をあげていた。これらの知識は、これまで経験した建設現場で Architect や Engineer から教えられた情報である。しかしどのような配筋方法が基準に適合しているのか、コンクリートを練る際の水の量、などについての情報はほとんど持ち合わせていない。

6) 技術的知識は、現場からの経験や伝聞によって入手されたもので、工学的に正しいものとそうでないものが混在している

Foreman, Worker ともに、耐震基準の存在は知っていた。ただし、彼らへの知識の供給源は一緒に働いた Architect や Engineer、あるいは彼らから情報を仕入れている Foreman であり、実際に技術を記述した書籍等を読んだことはなく、系統的に学習しておらず、その知識は断片的である。特に配筋方法などについては、過去の現場での実践が、そのまま基準に準拠していると考えていた。しかしなぜかコンクリートの調合だけは、正確な情報を持ち合わせているが、砂・砂利・セメントの配合比の情報だけで、水量に関する情報は欠如していた。これは、

大きな現場、すなわち彼らが Architect や Engineer から知識を学ぶ場においては、ミキサー車によるレディーミックス・コンクリートが使われており、水量よりも施工性の情報しか入ってこないためであると考えられる。

7) 普段の仕事は、知り合いからの紹介による地元の仕事が多いが、時折大きな現場でも働く機会があり、人脈を広げ、技術を学ぶ場となっている

建設の仕事が入ってくるルートとしては、仕事で知り合った人、前に一緒に仕事をした施主や Architect/Engineer から声がかかる場合が多い。しかし、いつも現場周辺だけで小さな住宅を建設しているわけではなく、ゼネコンの建設現場など大きな現場でも働き、そのような場で Architect や Engineer と知り合う機会を得ていた。これら大きな現場は、新しい知識や技術を習得する場であり、Architect や Engineer から目をかけられることもあり、次の仕事につながるチャンスの場ととらえていた。

8) 「これまで地震で壊れたことがない」という根拠で、自分が建てた建物の耐震性は十分であると考えている

これまで自分が建設した建物は、これまでの地震で壊れたことがないし、施主から文句を言われたことがないという理由で、地震に強いと考えていた。また、コンクリートの建物は、木造など Light Material の建物より地震に強いと考えていた。

9) 「よい」技術の取得には前向きだが、コストが技術の普及のカギとなると考えている

本研究で扱っているタイプの住宅の建設方法は、グループによって違いはなく、ほぼ一定であった。ただし急いで建設したり、コストを抑える場合に品質の低下が見られる場合があった。また、施主の意見で変更されるのは、トイレ・流しの位置、仕上げなど非構造部分のみで、構造体の変更はほとんどなかった。これは建物構造に考慮したというより、敷地が3m×8mしかないため、変更できる箇所が少ないという現実の制約であると考えられる。

建設作業者として、より耐震的に強い工法には興味があり、実際の施工の際に使ってみたいとは思いますが、実際の採用は施主の意向次第であると答えた人が多かった。あるいは、「施主を説得する必要がある」から、新しい技術は強くいい物であるといううわさが広まれば、採用が容易となるという考えを示した人もいた。この新しい技術の採用に伴うコストの増加については、現状の1.5倍なら何とか可能かも知れないが、2倍では無理であると考えていた。ただしこれは他人の家を建設する際の話で、自邸では1.5倍でも難しいという回答が多かった。

d) インタビュー調査のまとめ

現地の Non-Engineered 住宅の建設の現状は、Foreman・Worker とも、Architect や Engineer と一緒に働いた際に得た知識や技術を活用しながら経験に頼って建設しているが、技術に対する知識が断片的であるため、全体として耐震性に問題がある建物となっていることがあきらかになった。

3. 在来工法による RCFM 造 Non-Engineered 住宅の水平載荷実験

これら在来工法で建設された RCFM 造 Non-Engineered 住宅の水平載荷実験をおこない、地震時における破壊プロセスの検討と水平耐力の推定をおこなった。特に、E

棟と N1 棟の比較から新築試験体の構造的な再現性を確認するとともに、N1 棟と N2 棟の比較から短辺方向と長辺方向の耐力メカニズムや破壊モードの違いについて検討する。

(1) 実験方法

本実験は現場での実大実験であるため、近隣住民や近接住宅が原因で発生する種々の制約や資機材の調達・運搬に関する制限に適合する実験方法を採用した。

実験は、短辺方向と長辺方向の水平 1 方向単調載荷実験を実施した。実験装置は短辺方向用 (E, N1 棟) と長辺方向用 (N2 棟) の 2 種類を用意した。

加力方法は鉄骨製の加力フレームに装着された油圧ジャッキが PC 鋼棒・バックガーダーを介して対象住宅の 2 階床スラブ・梁を水平方向に引き倒すものとした。ここで実験時の加力により発生する水平反力は、対象住宅の 1 階床スラブ近傍で接した加力フレームから対象住宅に回帰するものとし、2 階床スラブレベルの加力と 1 階床スラブレベル近傍の反力で生じる偶力は、砂袋を利用したカウンターウェイトで釣り合いを維持し、加力フレームの浮き上がりを防止する自己完結型の加力方式を採用した。装置概要を図 4 に示す。

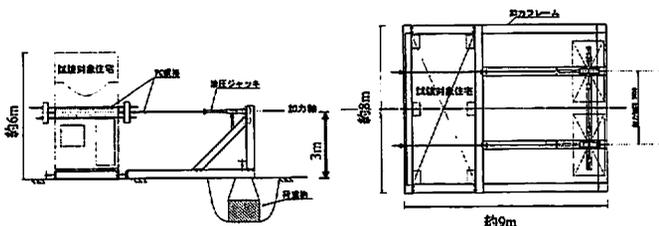


図 4 加力装置の概要

測定項目は実験を遂行するにあたり、ジャッキ荷重 2 点と、2 階床スラブ水平変位量 2 点を主要な測定項目と設定して常に値を監視するものとした。その他の項目として、1 階床スラブ変位量 2 点、試験建物側面の重心点鉛直水平変位量を設定した。1 階・2 階床スラブ水平変位量は、ひずみタイプの糸巻式変位計を使用し、床面からピアノ線を伸ばし、測定用基準柱に設置した変位計にてワイヤーの伸縮量を測定する方法とした。重心点鉛直水平変位量は光学式変位計を使用し 5 m 程度離れた場所からの測定した。E 棟を除く新規建設住宅には、柱と 2 階床横梁の鉄筋にひずみゲージを設置し、鉄筋ひずみ量を測定した。各測定器は動ひずみアンプを介してパソコンにデータを記録し、モニターと動ひずみアンプのインジケータで値を監視することが可能である。

実験は、開始から実験対象住宅の 2 階床スラブ水平変位量が微小変形領域までは、ジャッキ荷重を段階的に載荷していく荷重制御方式とし、荷重-変位曲線の勾配で規定した値に達した時点から一定の変位量増加速度による載荷方式の変位制御方式で行った。微小変形領域から大変形領域への変化点の判定は、常に監視しているジャッキ荷重と 2 階床スラブ水平変位量のデータから荷重-変位曲線を描き、検討の上決定した。

(2) 実験結果

E 棟と N1 棟は短辺方向の加力に、N2 棟は長辺方向の加力にそれぞれ供された。3 棟の荷重-変位曲線を図 5

に示す。また、最大耐力とそのときの変位及び倒壊時の変位を表 7 にまとめて示す。

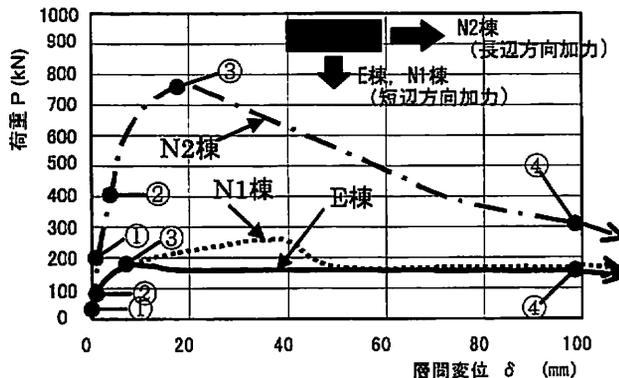


図 5 荷重-変位曲線 (E 棟・N1 棟・N2 棟)

表 7 最大耐力と最大変位

試験体	最大耐力(kN)・変形(mm)	倒壊時変形(mm)
E棟	174	8.0 (1/313)
N1棟	263	36.6 (1/68)
N2棟	749	20.6 (1/121)

a) 短辺方向加力 (E 棟, N1 棟)

短辺方向加力による最大耐力及びそのときの変位は N1 棟の方が大きいですが、両試験体の破壊プロセスは類似しており、耐力メカニズムもほぼ同等といえる。この結果から、N1 棟は既存住宅の E 棟の構造特性を十分再現した試験体であるといえる。E 棟の破壊プロセスを表 8 に示す。破壊プロセスの特徴をあげると以下のとおりである。

- 1) 初期の荷重制御による加力では、玄関側の変位が先行し、玄関側の腰壁で形成される短柱部分にせん断破壊が発生した。
- 2) 玄関と反対側 (以下、階段側) の構面は、CHB 壁が柱芯から 250mm 外側にオフセットして設置されているため、水平抵抗要素として十分機能しない。
- 3) 2 階部分の重量が軽いため、きわめて大きな変形 (層間変形角で 1/4 程度) に至るまで 1 階部分の倒壊が起らなかった。
- 4) 2 階床版の強度は高く最後まで平面を維持した。E 棟では 1 階の倒壊に伴う衝撃で 2 階部分も崩壊したが、N1 棟では 2 階部分は崩壊を免れた。

b) 長辺方向加力 (N2 棟)

長辺方向には柱・梁フレームの面内に合計 4 枚の CHB 壁がバランス良く配置されているため、短辺方向に比べてほぼ 3 倍の耐力を有することが確認された。N2 棟の破壊プロセスを表 9 に示す。破壊プロセスの特徴をあげると以下のとおりである。

- 1) 合計 4 枚の CHB 壁は、大亀裂が水平に貫通するまできわめて強力な水平抵抗要素として機能し、壁式構造の特性を示す。
- 2) CHB 壁の破壊後は、1 階はラーメン構造に近いメカニズムに移行するが、耐力の上昇はない。
- 3) 倒壊時の変形は非常に大きい (層間変形角で約 1/5)。
- 4) 短辺方向加力の場合と同様に、2 階床版の強度は高く、最終的に 1 階が崩壊した後も平面を維持し、2 階部分も崩壊を免れた。

表8 E棟の破壊プロセス

No. *	破壊性状	玄関側	階段側
①	・弾性状態 ・玄関側CHB壁に微細な亀裂		
②	・玄関側短柱のせん断破壊が進行		
③	・最大耐力 ・階段側CHB壁の一部にせん断亀裂		
④	・耐力低下 ・玄関側短柱にヒンジ形成 ・階段側CHB壁に水平大亀裂貫通		
-	・倒壊直前 ・長柱の上下端部に曲げヒンジ形成		
-	・倒壊 ・落下時の衝撃で2階部分も崩壊		

*図5中の番号に対応

表9 N2棟の破壊プロセス

No. *	破壊性状	北側	南側
①	・弾性状態 ・CHBに亀裂確認できず		
②	・CHB壁全面に斜め亀裂発生		
③	・最大耐力 ・CHB壁にほぼ水平（全体としては傾斜）の大亀裂貫通		
④	・耐力低下 ・CHBが剥落し、ラーメン架構として抵抗		
-	・倒壊直前 ・壁の亀裂が柱に伝播し局部破壊 ・柱の上下端部に曲げヒンジ形成		
-	・倒壊 ・2階部分は崩壊を免れる		

*図5中の番号に対応

c) 在来工法住宅の耐震性能

短辺方向には CHB 壁が水平抵抗要素として機能せず、柱断面もこの方向に扁平であるため、耐震性能は長辺方向に比べてかなり劣る。短辺方向載荷の最大荷重（E棟 174kN, N1棟 263kN）を建物重量（268kN）で除した値はE棟で 0.65, N1棟で 0.98 となる。しかしながら、この数値を建物が有する耐震性能とみなすことには疑問が残る。つまり、短辺方向には玄関側・階段側の剛性の違いにより偏心生じるが、本実験では前述のように2点の荷重を制御し、偏心をなるべく生じさせないように荷重制御をおこなった。したがって、実験で求められた短辺方向の最大荷重は、両構面の耐力の和であり、我が国の耐震設計における保有水平耐力に相当すると考えるのが妥当である。そこで概算ではあるが、E棟, N1棟, N2棟の必要保有水平耐力を求め、これと最大荷重との比較をおこなった（表10）。なおここでは、在来工法の D_s 値を 0.55 と仮定した。

E棟では、 Q_u/Q_{un} が 0.79 と保有水平耐力が十分でない。しかしながら、N1棟では、靱性能力を示す μ で E

表10 在来工法住宅の必要保有水平耐力の検討

	Q_{ud} (kN)	μ X_p/Y_p	D_s (仮定)	F_{us} (仮定)	Q_{un} (kN)	$P_{max}(Q_u)$ (kN)	Q_u/Q_{un}
E棟	268	2.70	0.55	1.5	221.1	174	0.79
N1棟	268	2.71	0.55	1.5	221.1	263	1.19
N2棟	268	2.71	0.55	1.0	147.4	749	5.08

ただし、 $Z=1, R=1, A=1, C_0=1, \sum W_i=268.0$

$$Q_{ud} = Z \cdot R \cdot A \cdot C_0 \cdot \sum W_i, \quad Q_{un} = D_s \cdot F_{us} \cdot Q_{ud}$$

棟の 1.25 倍、最大水平耐力で 1.51 倍と各値とも向上し、 Q_u/Q_{un} は 1.36 となった。本来、既存の E 棟とそれを模した N1 棟は同じ構造パフォーマンスを示すはずであるが、N1 棟が実験専用サイトで建設されたことで、材料の保管条件や作業環境、作業精度等が向上したことに起因すると考えられる。したがって、在来工法住宅の耐震性能は、著しく低いと言うほどではないものの、依然として $Q_u/Q_{un} < 1.0$ であり、耐震安全性確保のためには保有水平耐力の向上が必要であると判断される。

また、同種の建物のおおくは、将来3階建への増築を想定しており、このような状況を考慮すると、耐震性能は現在の半分程度まで低下することも予想され、改良による耐震性向上策を検討する必要がある。

4. 改良工法提案と水平載荷実験による効果の確認

以上の情報をもとに、著者らは現地に受け入れ可能な改良工法を提案し、その工法にもとづいて住宅建設をおこなった（以下 R 棟と記す）。さらに改良工法で建設された住宅の水平載荷実験をおこない、その改良効果を確認した。

まず、改良工法による住宅の目標性能を、日本の耐震基準における保有水平耐力の確保とし、 Q_u/Q_{un} の比で N1 棟の 1.5 倍程度の性能向上をめざすこととした。しかし一方で、インタビュー結果から得られた現地の経済状況を考慮すると、建設コストの増加は、最大でも 50% 以

下に抑える必要がある。

そこで、コンクリート強度・配筋・施工法を含む構造安全性改善の観点から、電気機器を全く用いないという工事に関する現地の慣習や資機材調達を制約を勘案し、将来の普及改善に耐える必要最低限の項目を選定した。改良項目は、コンクリート調合設計、かぶり厚確保や配筋計画を踏まえた柱・梁断面の決定、階段側コンクリートブロック(CHB)外壁の構面内移動など設計的な部分から、コンクリート混練や打設手順の改善など施工法に至る工事全般にわたっている。おもな改良項目と改善概要

表 11 R棟のおもな改良項目

項目	在来工法	改良工法
	E、N1、N2棟	R棟
コンクリート	—	調合・スランプ管理 強度向上、品質安定
柱断面(鉄筋かぶり厚確保)	B×D 250mm×170mm	B×D 300mm×250mm 水平耐力、耐久性向上
	B 160mm	B 180mm 水平耐力、耐久性向上
フープ・スターラップ	90° フック	135° フック 靱性向上
	壁用コンクリートブロック	t=100mm 水平耐力向上
コンクリート打設	柱・梁分離	同左・柱2段打設 密実な打設、水平耐力向上
	雨天決行	中止or仮設屋根設 水平耐力、耐久性向上

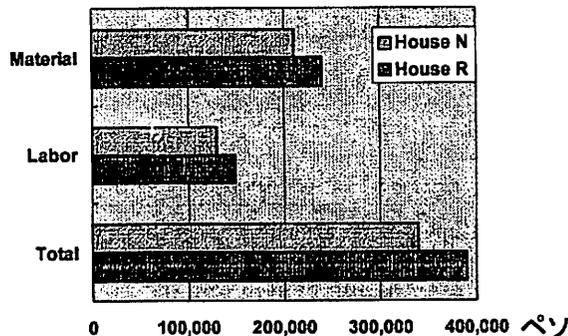


図 6 建設コストの比較 (N棟 vs R棟)

表 12 材料強度試験結果

棟	コンクリート		CHB		
	材令 (Days)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N)	全断面応 (N/mm ²)	
R	7	14.63	短辺方向全断面圧縮試験 CHB寸法： 15-7/8×5-5/8×8(in.)	1,151.97	2.00
		11.58		1,632.61	2.83
		13.41		2,427.07	4.21
	30	16.82			
		21.09			
		21.95			

及を表 11, コスト比較を図 6 に示す。なお, R 棟の建設コストは N 棟に比べて約 15% 増となった。

これら改良工法の効果を確認するために N1, N2 棟とあなじ Foreman に建設を依頼した。建設に際して何らかの技術的問題の発生が懸念されたが、特に大きな問題もなく完了した。建設は 2003 年 11 月 28 日に着工され、クリスマス、年末年始の休暇をはさんで 2004 年 1 月 10 日に竣工した。実質的な工期は約 30 日であり、N1, N2 棟とほとんど変わらない。

R 棟の建設過程では、柱・梁・2 階床スラブのコンクリートの材料試験を実施した。4 週圧縮強度で R 棟は N1 棟の約 2 倍程度以上の改善が見られた (表 12)。また、150mm 厚の外壁用 CHB の圧縮試験の結果も表 12 に示す。

次に R 棟の水平載荷実験をおこない、弱軸である短辺方向水平載荷実験をおこなって、N1 棟との比較から、改善による耐力や破壊モードの違い、および改善効果について検討した。

短辺方向加力による R 棟の荷重-変位曲線を図 7, 破壊プロセスを表 13 に示す。また、最大耐力とそのときの変位および倒壊時の変位を表 14 に示す。在来工法 N1 棟の場合と同様に、階段側 CHB 壁に最初のひび割れ、せん断破壊、崩落のあと柱梁といったラーメン要素のひび割れ、破壊へと続く破壊プロセスは概して類似している。在来工法 N1 棟の場合と同様に、階段側 CHB 壁に最初のひび割れ、せん断破壊、崩落のあと柱梁といったラーメン要素のひび割れ、破壊へと続く破壊プロセスは概して類似している。しかし、工法改善によってコンクリート強度向上、CHB 厚さ増と階段側 CHB 壁を柱梁構面内としたことにより水平耐力が向上した。また、鉄筋の定着方法 (長さ・方向・フック形状など)、かぶり厚を改善したことによりラーメン部材としての靱性が向上した。

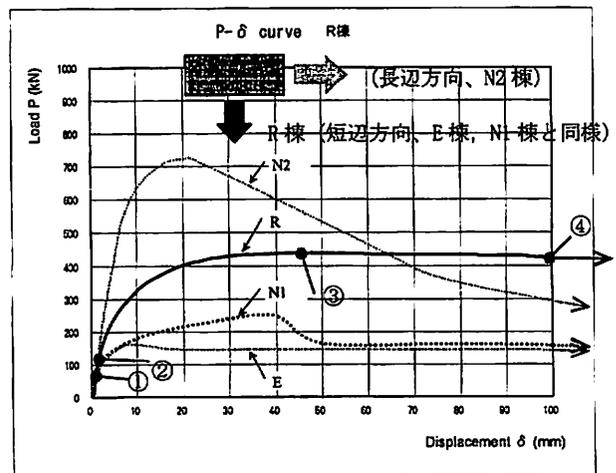


図 7 荷重-変位曲線 (R棟)

表 14 に示すように N1 棟と比較すると最大荷重 467kN は耐力で約 1.8 倍となり、また実験全体を通した変形性状から靱性の観点でも耐震性能は向上していることがあきらかになった。また、破壊性状も、N1 棟の梁柱接合部がせん断破壊であったものに対し、R 棟では柱頭・柱脚の曲げ破壊が顕著であったことも靱性能力の向上を示している。

次に保有水平耐力の検討をおこなう (表 15)。N1 棟と比較すると、 Q_u/Q_{un} は 1.55 で、N1 棟の 1.2 倍に向上した。なお、R 棟では $D_s=0.50$ と仮定した。柱梁接合部

表 13 R棟の破壊プロセス

No. *	破壊性状	玄関側	階段側
①	・弾性状態 ・構造体に外見 上異常なし		
②	・CHB全面に斜め亀裂が発生		
③	・最大耐力 ・CHB亀裂が水平に貫通		
④	・耐力低下 ・CHBの剥落 ・玄関側短柱、階段側柱の上下端に曲げヒンジ形成		
—	・倒壊直前 ・全柱に曲げヒンジ形成、不安定状態 ・内部間仕切り壁が崩落		
—	・倒壊 ・2階部分は崩壊を免れる		

*図7中の番号に対応

表 14 最大耐力と最大変位

試験体	最大耐力(kN)・変形(mm)		倒壊時変形(mm)
N1棟	263	36.6(1/68)	700(1/3.6)
R棟	467	45.8(1/55)	1,250(1/2)

の適正な配筋を実現する柱梁断面(拡大)とし、また定着を十分に取ったこと、単位水量を極力低く設定し、締め固めを十分に行い密実なコンクリート打接をおこなったこと等に起因すると考えられる。Pmax については上記に加え、階段側外壁を柱梁構面内としたこと、コンクリートブロック厚を 150mm にしたことなどに起因すると考えられる。

表 15 R棟の保有水平耐力の検討

	Q_{ud} (kN)	μ Xp/Yy	D_s (仮定)	F_{es} (仮定)	Q_{un} (kN)	$P_{max}(Q_u)$ (kN)	Q_u/Q_{un}
R棟	401	3.16	0.50	1.5	301.5	467	1.55

5. まとめ

本研究では、アジア・太平洋地域の Non-Engineered 住宅の耐震化をめざして、フィリピン・マリキナ市をフィールドに、Non-Engineered RCFM 造 2 階建て住宅に着目

し、その建設プロセスをモニターするとともに、建設職人へのインタビュー調査からその建設過程の実態をあきらかにした。次に、これら住宅の水平載荷実験をおこない、その耐力を推定することによって、この住宅の基本的性能をあきらかにした。さらに、これらの情報をもとに改良工法を提案し、水平載荷実験によってその効果を確認した。これは、コンクリートの混練・鉄筋の定着・フック形状の徹底、およびかぶり厚さや配筋の収まりを考慮した柱梁断面など、コストや工期増を最低限に抑えた改善項目でも、大幅な耐震性能向上が可能であることを示しており、今後の Non-Engineered 住宅の耐震性能向上策の検討に大きく寄与すると考えられる。

本研究で対象とした Non-Engineered RCFM 造 2 階建て住宅は、現状においても耐震性は著しく低いというレベルではないが、耐震安全性を保有耐力の視点から評価した場合、耐震性の改善は必要である。さらに、この地区の同種の建物のおおくは、将来資金が貯まった段階で、3-4 階建てへ増築することが一般的であり、このような状況をあわせて考えると、より一層の耐震性能向上策を検討しなければならない。一方で、住民は耐震性能向上にともなうコスト増にはきわめて敏感であり、この両者のトレードオフの関係をどのようにまとめてゆくかが今後の課題である。

このような問題の解決にあたっては、本研究で採用したような、現場におけるエスノグラフィ手法を用いた調査によって、現地の視点で実態の解明、問題点の把握をおこなうとともに、理論を援用して解決策の提案をおこなう手法は、きわめて有効である。このような方法論は、発展途上国の防災のみならず、さまざまな場面で適用可能と考えている。

謝辞

本研究の一部は、科学技術振興調整費「アジア・太平洋地域に適した地震・津波災害軽減化技術の開発とその体系化に関する研究(研究代表者: 亀田弘行 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター長)」によるものである。

参考文献

- 1) 田中聡, 玉置泰明, 永井博子, 鈴木三四郎, 堀江啓, 吉村美保, 林春男: 発展途上国における Non-Engineered 住宅の地震防災に関する基礎的考察 - フィリピン・マリキナ市における Non-Engineered 住宅を事例として -, 地域安全学会論文集 No. 5, pp. 11-19, 2003.
- 2) Satoshi TANAKA, Kaoru MIZUKOSHI, Tatsuya OHMORI, Kei HORIE, Norio MAKI, and Haruo HAYASHI: SEISMIC VULNERABILITY EVALUATION FOR NON-ENGINEERED HOUSING IN DEVELOPING COUNTRIES, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004, paper # 1263, CD-ROM.
- 3) Satoshi Tanaka, Kaoru Mizukoshi, Tatsuya Ohmori, Kei Horie, Norio Maki, and Haruo Hayashi: Loading Experiments of Non-Engineered Houses in Marikina City, Philippines, Proceedings of the Asia Conference on Earthquake Engineering, Vol. 1, pp. 273-281, 2004.

(原稿受付 2004.5.21)