打込み目地活用型高性能組積システム建築の施工実験

—鉄筋コンクリート組積造構工法の試作—

AN EXPERIMENTAL STUDY ON MASONRY BUILDING CONSTRUCTIONS WITH HIGH PERFORMANCE BONDING SYSTEMS UTILIZING CASTING JOINT METHODS

—A trial construction of forming details for reinforced masonry buildings—

馬場明生 —*1 石井克侑 —*2
長谷川直司 —*3 渡部嗣道 —*4
河原利江 —*5

Akio BABA —*1 Katsuyuki ISHII —*2
Naoji HASEGAWA —*3 Tsugumichi WATANABE —*4
Rie KAWAHARA —*5

キーワード:

鉄筋コンクリート組積造, ディテール, ボンディングパターン, 打込み目地, マーソナリーユニット

Keywords:

Reinforced masonry, Construction details, Bonding pattern, Casting joint, Masonry unit

This paper deals with a trial construction of the newly developed reinforced masonry buildings, which are assembled by utilizing new types of masonry units, a bonding system and casting joint methods. This construction system was originally developed under a comprehensive international project between Japan and USA in order to actualize a high performance of aseismicity, durability and waterproofness in masonry structures. Fundamentals of construction processes, structural details and new devices for composing the various parts in this type of residential buildings developed in the research project are introduced herein.

1. はじめに

ここでは、いわゆる組積造建築物の耐震性を改善するために、この種の構造が本来有している耐久性および耐火性を、耐震性の優れた壁式鉄筋コンクリート造とハイブリッド化することによって得られる総合性能の優れた鉄筋コンクリート組積構造の構工法について提案している。また、試施工を行って実構造物として必要な施工性を確認したので報告する。また、本構工法はわが国のように多雨地域における組積造のあるべき構工法を提案する意義をも有している。ここで提案する構工法は、上述の目的を実現するために新しい型枠状ユニット^{*1} およびこれまでにないボンディングパターン等の新提案を行っている。ここで、耐震性に関しては建設省建築研究所による「組積造の耐震性に関する日米共同研究」^{*2} によって材料・構法および構造システムに関して総合的に研究されており、耐震性は基本的に確認されている。

したがって、ここでは同構工法によって現実の建築物を施工するときの有効性を明らかにすることを目的としている^{*3}。なお、ここで報告する試施工に当たっては、目地モルタルを用いることによる同構工法の技能依存性を改善する目的から組積単体(以下、ユニットという)間に設けられる空隙をグラウト中のモルタルが充填接着するという打込み目地構法の効果を確認することをも重要な研究目的としている。この目地構法の実現は、組積造を技術依存型に変化させるという建築技術上重要な意義を有している。

2. 既往の研究

ここで取り扱う構工法は、耐震性に関して総合的に研究されて

おり[1]、構工法に関する研究の詳細に関しても系統的に研究されつつある[2~6]。ここでは、構工法に関する既往の研究について説明する。ユニットを組積したものにグラウトを行った組積体の圧縮強度などの力学的な性質に関しては、ユニット・目地およびグラウトという複合状態として評価される必要がある。そのために組積体からなるブリズム強度を用いた品質管理方法について研究されており、基本的な組合せに関する材料強度管理方法について基本的に確立している[2および3]。また、同組積体の物理的な耐用年数を予測するために基本的に必要なユニットのフェイスシェルの媒介としたグラウトの中性化の進行予測に関しては、振動加圧成形されたコンクリートユニットおよび押出成形された焼成セラミックスユニットに関して研究が行われている[4および5]。ここで、以上の既往の研究成果は、打込み型枠材としてのユニットがグラウトコンクリートおよびモルタルを完全に被覆して両者の間に接着一体性が存在することが前提条件として成立する。そのためには、モデューラーコーディネーションとボンディングパターンとに関する技術が重要であり、この点に関して多雨環境下の地震国であるわが国に適合した提案を行ってきた[6]。

以上からものとしての性質および幾何学形状の面から建築構工法としての条件は基本的に整備されたと考えられるが、同構工法の実建築物としての有効性は確認されていないのが現実である。したがって、ここでは以下に記す構工法の要素技術を試作し適用した実建築物の適否を施工実験によって確認した結果について報告している。

*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 教授・工博
(〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

*2 山口大学大学院理工学研究科 博士後期課程

*3 国土交通省国土技術政策総合研究所住宅生産研究室 室長・工修

*4 大阪市立大学生活科学部居住環境学科 助教授・博士(工学)

*5 山口大学工学部感性デザイン工学科 助手・修士(工学)

*1 Prof., Department of Perceptual Sciences and Design Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

*2 Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi Univ.

*3 Head, National Institute for Land and Infrastructure Management, MLIT, M. Eng.

*4 Assoc. Prof., Department of Housing and Environmental Design, Faculty of Human Life Science, Osaka City Univ., Dr. Eng.

*5 Assist. Prof., Department of Perceptual Sciences and Design Engineering, Faculty of Engineering, Yamaguchi Univ., M. Eng.

3. 研究対象建築構工法の要素技術

3. 1 組積システム

対象とした構工法において採用した組積システムは、上述の日米共同研究において提案した3種類[6]のうちの1つである12型とした。そのために必要な1種類の標準形と2種類の役物とをFigure 1に示す。また、ボンディングパターンについてL形交差部を例にFigure 2に示す。また、この組積システムは以下の条件を満たしている。

- 1) 大型ユニットを用いることによって組積の工数を小さくできる。
——施工効率(Efficiency)
- 2) L形・T形・I型および+型の交差部を破れ組積できる。
——交差部(Corner)
- 3) 縦目地部をグラウト部の中心位置とできるオープンエンドユニットを採用し、防水上の欠陥を生じないようにする。
——防水性(Waterproofness)
- 4) 梁部をも組積造とする。
——型枠状ユニット (Bond beam units)

3. 2 構工法技術

試施工に当たって施工信頼性および施工効率を向上できるように、すなわち実際に適用できる構工法とするために以下の要素技術を採用した。

- 1) 打込み目地構法；互いに上下左右に隣接するユニットのフェイスシェル端部に接着充填用間隙部を設けた高精度ユニットを採用することによる技能依存性施工からの開放。
- 2) 多能工による一貫施工システム；技能からの開放による躯体全体を施工できる多能工を基礎とする施工組織の実現。
- 3) 鉄筋の重継ぎ手の採用；在来の補強ブロック造では禁止されていた組積体内の縦筋重継ぎ手の実現による施工の容易化。
- 4) 階高グラウト工法；従来の逐次グラウトから階高グラウトと

L: module length of unit t_f : thickness of face shell
T: module thickness of unit t_w : thickness of web
j: joint width

Figure 1 One standard unit and two special ones developed in the experiment

Figure 2 Units and bonding system adopted in the trial construction of high performance masonry in case of using double shells system

することによって壁内部のグラウトの力学的な連続性を実現し、遅延膨張性の専用混和剤を用いることによって高スランプグラウトを実現。

- 5) ダブル配筋可能な打込型枠構法による基礎梁；上部耐力壁と同縦空洞部配置の部材厚のより大きい型枠状ユニットの採用による施工の一貫化。
- 6) 混練水抜きと表面処理によるスラブコンクリートの無防水層化；コンクリート中における余剰の混練水を除去することによるひび割れ防止処置により本来防水的なコンクリートの防水性能を活用。
- 7) 外壁におけるダブルシェルユニットの採用による外断熱；上部構造外周部に採用するユニットのフェイスシェルをダブルとすることによる外断熱の実現。
- 8) 腰壁部におけるグラウトの充填性の改良；現場打設コンクリートで充填できない腰壁部の階高施工による密実充填。
- 9) 開口寸法精度の向上による開口部材の取付け構法の改善；寸法精度を $\pm 3 \text{ mm}$ 以下とすることによる左官技能を用いた従来の開口部工事を改善する。
- 10) 非珪酸質防水剤の利用；屋根スラブ表面のような劣化作用の大きい部位や開口部抱きのような雨仕舞の困難な部位に塗布することによる耐久性や防水性の向上。

以上の技術は、実施工としての実績のないものであり、今回これらを組み合わせて実施工実験に適用してその効果を確認するものである。特に1)から3)は組積造の構工法としてのだけでなく鉄筋コンクリート造の構工法としても重要であると考えられる。

4. 施工実験

4. 1 試験体

試施工を実施する建築物は、鉄筋コンクリート組積造3階建てであり、その諸元をTable 1に示す。また、Table 2に構造諸元の概要について示す。平均せん断応力度法に基づく1Gの水平力作用時のせん断応力度は、最も大きな一階部で0.7MPa以下であり、大地震動時においても短スパン梁にひび割れが発生するおそれのない値とした。さらに、表面を被覆する型枠状コンクリートユニットは中性化速度を小さくするために工場出荷時の圧縮強度で40MPa以上と比較的高強度とした。また、グラウトコンクリート、スラブに用いるコンクリートおよび根付けモルタルの調査・設計基準強度などをTable 3に示す。ここで、グラウトコンクリートはスランプ24cmの豆砂利コンクリートとして、廻し打ちして棒状ヴァイブレーターで締め固めた。

Table 1 Brief features of the building as a specimen for trial constructions

usage	stories	area(m ²)			structure	finishings	remarks
		1st	2nd	3rd			
detached house	3	112.3	50.2	18.8	grouted concrete masonry	non	including built in garage

Table 2 Structural features of the building as a specimen for trial constructions

story	kind of structure	thickness (mm)	height (mm)	density of walls (cm/m ³)	mass (ton)	1G shear stress (MPa)
foundation	rm	248	1200	(22.7)	67.3	—
first	rm	197	2600	22.7	114.2	0.67
second	rm	197	2600	21.0	74.3	0.36
third	rm	197	2600	23.4	28.5	0.12

(Note)rm means reinforced masonry dealt with in this paper.

そのほか意匠的な特徴としては、組積造の外観上のメリットとして出入りのある陰影効果のある壁面構成とし、そのような状態における施工の難易度を確認することができるように工夫している。さらに、耐久性および防水上重要である開口部やパラペット笠木（石）などの雨仕舞部に専用ユニットによる打込み型枠構工法の納まりを採用して施工性の検討ができるようにした。

4. 2 観察・測定項目および方法

試施工に当たっては、Table 5 に示す選定した項目について視覚的に定量的に測定した。1) の組積構工法上の問題点の抽出、並びに 2) の工程および工数に関しては、以下に示す個別の部位構工法毎について明確となるようにした。

①平坦部および各種交差部の組積 ②壁梁の施工手順 ③耐力壁と壁梁との取合い ④壁（壁梁および耐力壁）と床および屋根スラブとの取合い ⑤開口部周辺の納まり

次に、2) および 3) については、経済性および施工品質上特に重要であるため定量的な結果が提示できるようにした。

5. 実験結果および考察

5. 1 組積システム

新構工法の施工実験の結果として、個別部位構工法毎の施工中の状況について Photograph 2 に示す。転用型枠構工法の鉄筋コンクリート造の施工と比較して、手間の掛かる詳細部および仕上

げが容易に実現できるが、躯体工事の時に既に詳細部を形成する役物などの準備・組立てという総合的な準備が必要であることは、タイル張り外装の鉄筋コンクリート造の場合と似ている。鉄筋コンクリート組積造の施工のためには、設計・工場および施工を結び付ける情報化技術が効果的である。

具体的には壁の組積において各種交差部は芋目地とならず剛にしかも精度よく形成できた。さらに、開口部においても雨仕舞などを構造体と同時に無理なく実現できた。Photograph 3 および Figure 4 に、鉄筋とユニット組積との最も複雑な手順が求められる壁梁施工の完成状態と施工フローを示す。想定した施工フローの有効性を確認でき、補強筋の上下方向の被り厚さも確保できた。これは、ウェブの絞り量を 7:3 とし全体の量を 50% としたことによる。

5. 2 施工工程および効率

施工工程および工数に関する実験結果を Figure 5 および 6 に示す。打込み目地構法と階高グラウト工法の採用によって、外足場を用いない状態で養生・仕上げおよび脱型なしの条件下において一種の壁式鉄筋コンクリート造を効率よく施工できた。すなわち、仕上げおよび脱型込みで一部配筋を含めた型枠工事は、最初の実

Table 3 Sizes and physical properties of masonry units

sign of units	kind of structure	size of units(mm) height length width	compressive strength(MPa)	water absorption rate(vol.%)	remarks
f1	con-40	197×397×248	42.8	17.8	Single shell
d1-d2	con-40	197×397×197	42.3	14.9	Single & Double shell

Table 4 kinds and physical properties of concrete and mortar

sign of mixtures	w/c (mass%)	mixproportions(kg/m3)				slump	compressive strength(MPa)	remarks
		cement	water	sand	gravel			
GC	0.520	439	228	713	918	24	38.8	S.P.A
C	0.492	400	197	826	918	18	42.9	
M	0.480	385	185	1159	—	15	53.0	

Table 5 Measuring items and measuring methods

items	methods
1) unit laying methods and their characteristics	visual inspections and measuring sizes
2) construction processes and velocity	visual inspections and measuring person powers
3) size accuracy	measuring three dimensional sizes of components
4) lifting and grouting	visual inspections and measuring compactibility
5) performance of concrete slabs	visual inspections

Figure 3 A wall type structural frame of the experimental building

L-shaped crossing of walls

T-shaped crossing of walls

Structural connection of walls and beams

Beam and floor slabs

Generally shaped openings

L-shaped openings

Photograph 2 Results of typical structural details

Photograph 3 Completion of beams

Figure 4 Construction procedure of beams

績であるにも関わらず、開口を含めたグロス値で一人一日当たり 20m^2 を実現できることが確認できた。これはコンクリートブロック工事の7倍、コンクリートの型枠工事の2倍である。

5.3 寸法精度

開口部における水平および垂直の寸法精度に関する結果を Figure 7 に示す。開口部の水平および垂直寸法の変動は、最大 $\pm 3\text{mm}$ と高精度であった。これは、本構工法において開口枠組みの取付けの合理化など多くの施工の合理化が可能であることを示している。さらに、構造面の凹凸や構造体の高さの精度は、階高当り最大 $\pm 3\text{mm}$ 、建築物高さ当り 9mm 以下と高精度であった。通常の鉄筋コンクリート造における場合の仕上げ精度として要求される程度に良好である。

5.4 グラウト施工

鉄筋コンクリート組積造は、鉄筋コンクリート造と組積造との一種のハイブリッド構造であり、グラウトと打込み型枠としての組積体との一体性と共に良好な充填が前提として求められる。Photograph 4 は、階高充填後の最も充填が困難である腰壁部の充填状態を示している。また、階高下部に存在する取合い部のみから充填された小型バルコニーの充填も十分であった。厚さ方向の超音波伝達速度の結果も位置によらずほぼ一定となった。

6. まとめ

初めての打込み目地構法鉄筋コンクリート組積構造実建築物の施工実験の結果、以下のことが明確となった。

- 1) 通常存在する各種形状の壁交差部を破れ目地で剛に施工できた。
- 2) 主要構造部材間の各種接合部は、組積造同士および組積造と鉄筋コンクリート造と異種構造接合の場合において円滑に施工できた。
- 3) 仕上げおよび開口部における雨仕舞上必要な部材を構造体と

Figure 5 Primary construction process

Figure 6 Efficiency of construction measured in the experiment

Figure 7 Size accuracy in openings

Photograph 4 Compactibility of construction

共に実現できた。

- 4) 鉄筋コンクリート組積造の施工精度は通常の仕上げ精度と同程度に優れていた。
- 5) 打込み目地構法と階高グラウトとを組み合わせた鉄筋コンクリート組積造は、効率よく施工できた。
- 6) 今後、各種の施工実績を経なければ明確とならないことは多いと考えるが、一応大きな問題なく施工できた。

注)

- *1 日本工業規格・建築用コンクリートブロック (JIS A 5406)・1994 年および同規格・建築用セラミックスメーソンリーユニット (JIS A 5407)・1994 年に規定する断面形状による区分であり、縦横に配筋・グラウトできる構造用の組積構法を形成するために活用される。組積構造の耐震性に関する日米共同研究の結果 JIS 規格化された。
- *2 産学官が共同で主催する研究推進委員会 (委員長: 故梅村魁博士) 下の耐震性能の実現のために開催された技術調整委員会 (委員長: 岡田恒男博士) の下で研究した。
- *3 材料および構工法を研究するために開催された構法委員会 (委員長: 上村克郎博士) の下で実施された。

謝辞

本研究で取り扱っている鉄筋コンクリート組積構造は組積造の耐震性に関する日米大型耐震実験研究下で開発されたものであり、一貫してご指導いただいた梅村魁博士・上村克郎博士・岡田恒男博士をはじめとする諸先生方によるところが大きい。ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] 岡田恒男他: 組積造の耐震性に関する日米大型耐震実験研究 (その 1 ~ 115), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1988 年 ~ 1994 年
- [2] 馬場明生、千歩 修、渡辺光良: 空洞部の大きい高強度メーソンリーユニットの組積状態における圧縮強度, 日本建築学会構造系論文集, No.492, pp.1 - pp.5, 1997 年 2 月
- [3] 千歩 修、馬場明生、渡辺光良、上之蘭隆志: 補強組積造のプリズム強度の管理方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.515, pp.7 - pp.14, 2000 年 1 月
- [4] 馬場明生、千歩 修、松島泰幸、羽木宏: グラウトしたコンクリートメーソンリーの中性化, 日本建築学会構造系論文集, No.498, pp.1 - pp.6, 1997 年 8 月
- [5] 馬場明生、守 明子: グラウトしたセラミックスメーソンリーの中性化, 日本建築学会構造系論文集, No.502, pp.1 - pp.6, 1997 年 12 月
- [6] 馬場明生、千歩 修、長谷川直司、石井克佑、渡部嗣道: 補強組積造の高性能化のための組積単体および組積システムの提案, 日本建築学会技術報告集, No.11, pp.7 - pp.12, 1999 年 12 月
- [7] 日本工業規格・建築用コンクリートブロック (JISA5406), 1994 年
- [8] 日本工業規格・建築用セラミックスメーソンリーユニット (JISA5407), 1994 年

[2002 年 4 月 19 日原稿受理 2002 年 7 月 23 日採用決定]