

論文

[2101] 圧縮力を受けるコンクリートブロックからなる組積プリズムの破壊挙動に関する実験的研究

正会員 ○窪田敏行 (近畿大学理工学部建築学科)

正会員 村上雅英 (近畿大学理工学部建築学科)

1. 研究目的

昭和59年度より5か年計画で、建設省建築研究所を中心に組積造の日米共同大型耐震実験研究の一環として、コンクリートブロック又はれんがブロックを鉄筋で補強し、グラウト材を全充填することにより強度を増した補強組積造(RM構造)を用い、5階建まで可能にすることを目指した研究が行われてきた。平成元年度にはその設計指針が示される予定である。その設計及び強度管理にはプリズム圧縮強度を用いることが規定されている。馬場、千歩[1]は、1次元並列バネモデルに基づき、組積単体と充填コンクリートの強度からプリズム圧縮強度を推定する実験式を提案している。その実験式では、素材の累加強度とプリズム強度の差を組積係数の導入によって修正している。

一般に組積単体と充填コンクリートの力学的性質は異なっており、そのため、組積プリズムが圧縮力を受けると組積単体が充填コンクリートの膨張を拘束し、組積プリズム全体の圧縮強度は素材の1軸圧縮強度の和よりも高くなることが、れんがブロックからなる組積プリズムで実験的に確認されている。そこで、筆者らは、それらの効果を考慮した組積プリズムの圧縮強度の推定式を文献2で提案した。本研究では、文献2で提案した推定式のコンクリートブロックからなる組積プリズムへの適応性を検討する。また、組積プリズムの圧縮強度は200ton付近となり、圧縮試験機の容量不足により試験不可能な場合が生じる。そこで半分に切断した組積単体を用いた半寸プリズムの圧縮強度から全寸プリズムの圧縮強度を推定することにより試験方法の簡便化を図ることを目的として、半寸プリズムの試験体を製作し圧縮試験を行い、半寸プリズムと全寸プリズムの破壊挙動の相違を比較検討する。

2. 試験体及び試験方法

組積プリズムは、図-1のようなコンクリートブロックを3段積み、空洞部にコンクリートを充填したものである。プリズム試験体の高さ/厚さ比は約3.0である。文献2で提案した強度推定式(式(1))のコンクリートブロックからなる組積プリズムへの適応性を調べるために、表-1に示すように、推定式中の特定の項のみの影響が現れるように加工した組積単体等を用いて組積プリズムを製作し、比較実験を行った。

$$P_{\max} = A_c \cdot f_{c'} + A_c \cdot k \cdot \sigma_L + A_b \cdot f_b \quad (1)$$

ここで、 $P_{\max}$: 組積プリズムの圧縮強度 $f_{c'}$: コンクリートの一軸圧縮応力度

A_c : コンクリートの実断面積 ($13\text{cm} \times 39\text{cm} = 507\text{cm}^2$) k : 定数(11.5)

A_b : コンクリートブロックのフェイスシェルの実断面積

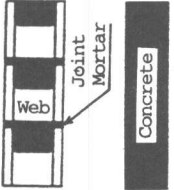
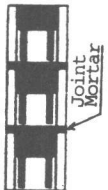
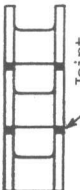
($3\text{cm} \times 39\text{cm} \times 2 = 234\text{cm}^2$)

σ_L : 横方向の拘束応力度

f_b : コンクリートが最大耐力に達したときのフェイスシェルの負担圧縮応力度

OR3J01~06は、強度推定の対象となる試験体である。その他の試験体は、式(1)の各項の影響を

表-1 組積ブリズム一覧

Name	OR3J (01-06)	CON-N (1-3)	CON-B (1-3)	CWNJ (01-03)	CW3J (01-03)	NJ3J (01-03)	UG3J (01-03)	HB3J (01-03)
Section								
Net Area *	Ac+Ab	Ac	Ac	Ac	Ac+Ab	Ac	Ab	(Ac+Ab)/2
Web	—	None	—	Slit	Slit	—	—	—
Joint	Mortar	Mortar	Mortar	—	Mortar	—	Mortar	Mortar
Ac·Fc	○	○	○	○	○	○	—	○
Ac·k·σ _L	○	—	—	—	—	○	—	—
Ab·Fb	○	—	—	—	○	—	○	○

* Ac=13cmX39cm=507cm²

Ab=3cmX39cmX2=234cm²

Joint Thickness:10mm

調べるために以下に示すように実験変数を与えた比較試験体である。

充填コンクリートの1軸圧縮強度（式(1)の第1項）に関する試験体群

以下に示す3種類の方法で充填コンクリートの1軸圧縮強度を調べた。

CON-N1~N3: コンクリートシリンダーとの形状効果を調べるためのコンクリート塊であり、OR3Jの充填コンクリート実断面積と同じ木製型枠にコンクリートを打設した。

CON-B1~B3: 実際の組積ブリズム中の充填コンクリートとほぼ同じ養生条件とした試験体であり、表-1で示すようにウェブとフェイスシェルの接合部分にスリットを入れたコンクリートブロックを用いて組積し、コンクリート打設1週間後にフェイスシェルを取り外した。

CWNJ01~03: CON-B1~B3と同じ加工を施したコンクリートブロックを用いて組積し、目地部分をモルタルの代りに発泡スチロールを用いて組積し、試験直前に溶剤を用いて目地部分の発泡スチロールを溶かし、目地部分をスリットとした。

ポアソン効果によるコンクリート強度の増加分（式(1)の第2項）に関する試験体群

以下に示す2通りの方法で、ポアソン効果によるコンクリート強度の増加分を直接調べた。

★Case1 OR3J01~06とCW3J01~03の比較

CW3J01~03: 組積単体の充填コンクリートへの拘束を除去するため、ウェブとフェイスシェルの接合部分にスリットを入れたコンクリートブロックを用いて組積し、コンクリートを充填した。

★Case2 NJ3J01~03とCWNJ01~03の比較

NJ3J01~03: 目地部分をモルタルの代りに発泡スチロールを用いて組積し、試験直前に溶剤を用いて目地部分の発泡スチロールを溶かし、目地部分をスリットとした。

組積単体の圧縮強度（式(1)の第3項）に関する試験体群

UG3J01~03: コンクリート無充填の3段積み組積ブリズム

UG1J01~03: コンクリートブロック単体

3×3×6cm: フェイスシェル部分から3cm×3cm×6cmに切りだした圧縮試験片

以上、全寸ブロックを用いた試験体群の他に、ブロックを長手方向の中央部で切断した半寸ブ

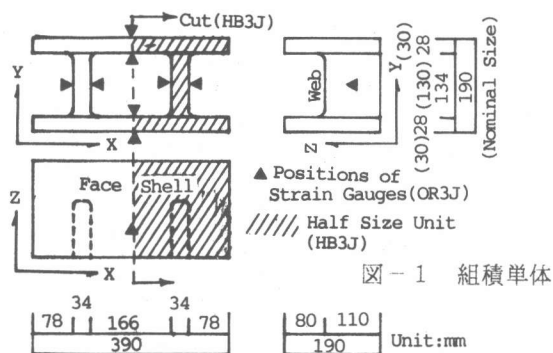


図-1 組積単位

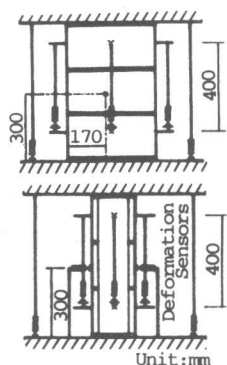


図-2
実験方法

ロック（図-1の斜線部分）を3段組積し、コンクリートを充填したHB3J01～03を製作した。

試験1週間前に、各試験体の打設面を超早強セメントペーストでキャッピングし、さらに試験機に設置する際にも加力盤と試験体の間に高強度石膏を敷いて、偏心荷重が作用しないように配慮した。加力には、200tonアムスラー試験機を用いて、単調加力とした。

全体ひずみに関しては、高感度変位計（分解能1/1000mm）を用いて、図-2に示す位置でエポキシパテで接着したM6ボルト間の伸縮量を測定してひずみを算出した。また、組積単体の主要な部分にひずみゲージを貼り、局部ひずみも計測した。

充填コンクリート（以下、単にコンクリートと呼ぶ）、目地モルタル、及び、コンクリートブロックの力学的特性を表-2に示す。コンクリートブロックの圧縮強度は、フェイスシェルから3×3×6cmの角柱を切り出して圧縮試験した場合と、コンクリートブロック単体（UG1J）を直接圧縮試験した場合の2通りより求めた。後者については、最大耐力をコンクリートブロックのフェイスシェルの実断面積Abで除して算出した。圧縮試験結果から、コンクリートブロックの力学的挙動は、図-3に示すように破壊に至るまでほぼ弾性的であることが認められた。3×3×6cmの角柱で実測されたポアソン比については、フェイスシェルの長さ方向と厚み方向の両方向でほぼ同じ値 $\nu=0.2$ になった。フェイスシェル部を長辺方向に巾10cmで切出し、表-2付図に示す方法で曲げ試験を行った。曲げ試験の結果、最大強度付近で多少、塑性流れが認められた。また、破断時のひずみは、平均して $\varepsilon=0.00015$ であった。

コンクリート打設後のブロックの水分吸収による充填コンクリートの強度上昇率を調べるために、文献2と同じ方法で13×19×39cmの木製型枠とブロック型枠にコンクリートを打設した供試体の圧縮強度を比較した。表-3に示すように打設後の水分吸収により充填コンクリートの強度が約1.1倍に上昇することが確かめられた。

3. 実験結果

各試験体の最大耐力、及び、その平均値と標準偏差を表-4に示す。

フェイスシェルとウェブの接合部にスリットの無い試験体では、最大耐力の80%付近から急激にフェイスシェルと充填コンクリートの間にひび割れが発生し始め、次第にひび割れの幅が広がり、フェイスシェルの剥離とともに荷重が一瞬にして低下した。一方、フェイスシェルとウェブの接合部にスリットを入れた試験体は、初期の段階からフェイスシェルと充填コンクリートの付着面からひび割れが発生し、徐々にひびわれが拡大し最大耐力に達して破壊した。

表-2 材料の力学的性質

	$\sigma_{\max}$	$E1/3$	σ_b
Conc.	217	201	
Mortal	286	222	
Block	261*	294*	41**
(UG1J)	299		$V=0.2^*$

(Unit: kgf/cm², ton/cm²)

* Test Piece Size 3X3X6cm

**Flexural test

on Face Shell

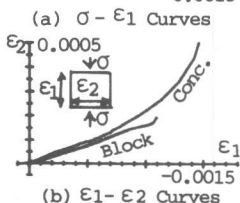
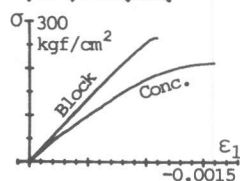
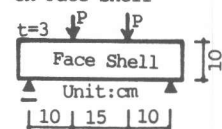


図-3 組積単体とコンクリートの力学的性質の相違

表-4 プリズム試験結果

Name	Pmax(σmax)	Av.	S.D.
OR3J01	171.7(232)		
OR3J02	184.7(249)		
OR3J03	193.7(261)		
OR3J04	196.6(265)	188	8.9
OR3J05	191.1(258)	(254)	
OR3J06	190.4(257)		
CW3J01	159.5(215)		
CW3J02	169.6(229)	171	12.7
CW3J03	184.8(249)	(230)	
CWNJ01	100.0(197)		
CWNJ02	92.4(182)	98	4.9
CWNJ03	101.5(200)	(193)	
NJ3J01	123.6(244)		
NJ3J02	115.0(227)	119	4.5
NJ3J03	117.1(231)	(235)	
UG3J01	60.6(259)		
UG3J02	38.4(164)	50	11.3
UG3J03	53.8(230)	(214)	
UG1J01	79.9(341)		
UG1J02	58.2(249)	70	11.2
UG1J03	73.3(313)	(299)	
CON-N1	137.0(270)		
CON-N2	141.2(278)	147	14.4
CON-N3	163.7(323)	(290)	
CON-B1	87.0(172)		
CON-B2	99.2(196)	96	8.0
CON-B3	102.1(201)	(189)	
HB3J01	80.0(216)		
HB3J02	83.2(225)	85	7.1
HB3J03	93.6(253)	(229)	

Unit: ton(kgf/cm²)

表-3 組積単体の水分吸収による強度上昇

Mold	σmax(S.D.)	Rate
Block	310 (14)	
Wood	290 (11)	1.07

Size:13X19X39cm

Unit:kgf/cm², Age=4weeks

表-5 推定式の各項の値

Term	Estimation Method	ton
Ac·Fc	CON-N	147
	CON-B	96
	CWNJ	98
	Cylinder Test	114
	CON-N X 1.1	162
Ac·k·σL	Cylinder X 1.1	125
	(NJ3J) - (CWNJ)	21
Ab·Fb	(OR3J) - (CW3J)	16
	UG3J	51
	UG1J	71
	3X3X6cm	57
	(CW3J) - (CWNJ)	73
	(OR3J) - (NJ3J)	69

表-6 各項の組合せによる最大耐力 (a) OR3J (Pmax=188ton) の推定

Ac·Fc	Ac·k·σL	Ab·Fb	ton
CON-B	(NJ3J)-(CWNJ)	UG1J	188
	(OR3J)-(CW3J)	UG1J	183
CWNJ	(NJ3J)-(CWNJ)	UG1J	189
	(OR3J)-(CW3J)	UG1J	185
(b) CW3J (Pmax=171ton)			
Ac·Fc	Ac·k·σL	Ab·Fb	ton
CON-B	—	UG1J	167
CWNJ	—	UG1J	169

4. 提案式のコンクリートブロックへの適応性に関する検討

累加強度式全体に関する検討

各試験体の最大耐力を比較することにより、式(1)の各項の値を抽出することが出来る。そこで、抽出された各項の値を表-5に示す。第1項に関しては、OR3Jの充填コンクリートとほぼ同じ養生条件のCON-BとCWNJの強度がほぼ一致している。第2項に関しては、2通りの方法で算出されるが、両者の差は僅かであることが実験的に確認された。また、第3項に関しては、間接的に得られた組積単体の圧縮負担力((CW3J)-(CWNJ), (OR3J)-(NJ3J))とUG1Jの圧縮強度がほぼ一致しており、組積単体が負担する圧縮力を推定する場合、組積単体を直接圧縮試験した結果が、最も実状に近いことが実験的に確認された。推定式の各項の値としてOR3Jの破壊時の状態と最も近い値を選び、それらを組み合わせることにより得られたOR3Jの圧縮強度の推定値を表-6に示す。OR3Jの圧縮強度の推定値は183~188tonとなり、推定値と実験値はほぼ一致する。また、第1項の値として、CON-BあるいはCWNJの強度を用い、第3項の値としてUG1Jの値を用いてCW3Jの強度を推定すると、それぞれ167tonと169tonとなり、実験値の171tonとほぼ一致する。したがって、組積単体の拘束による圧縮強度の増加を考慮した充填コンクリートの圧縮強度と、組積単体の圧縮強度の累加強度式(式(1))によってコンクリートブロックからなる組積プリズムの圧縮強度も推定出来ることが、本実験より確認できた。

充填コンクリートの圧縮強度に関する検討

空洞部に充填されたコンクリートの圧縮強度を

推定する際には、①組積単体の水分吸収による強度の増加、②打設直後のコンクリートの沈下によりウェブの下部に生じる空隙と沈下ひび割れなどによる欠陥の存在、③組積単体の拘束による充填コンクリートの圧縮強度の増加などを正確に評価しなければならない。これら①～③の項目は、互いに影響を及ぼしていると考えられるが、ここでは、それらの項目が互いに独立して圧縮強度に寄与するものと仮定して、それぞれの項目について以下で検討を行う。

(1)第1項に関する検討 ①については、組積単体の水分吸収による充填コンクリートの圧縮強度の増加の割合は、表-3より約1.1倍となり、れんがブロックの場合の1.2倍よりも若干低いことが実験的に確認された。②については、沈下ひび割れなどの欠陥による充填コンクリートの圧縮強度は、CON-NとCON-B及びCWNJの最大強度の比較より、著しく低下することが実験結果から確認された。その理由は、CON-Nではせん断圧縮ひび割れの発生により最大耐力に達したのに対し、CON-B及びCWNJでは付着引張強度の低いウェブとコンクリートの付着面に沿って縦方向にひび割れが発生し、最大耐力に達したためである。また、図-4に示すように、OR3JのウェブのZ方向(座標軸は、図-1参照)のひずみは、充填コンクリートのZ方向のモールドゲージより実測されたひずみよりも増加の割合が小さい。この測定結果は、ウェブ下部にコンクリートの沈下による空隙があるため、ウェブに圧縮力が十分伝達されていないことを示している。

(2)第2項に関する検討 第2項全体の値は、表-5に示す方法で直接求めることが出来た。しかし、ウェブの引張強度から式(2)と式(3)を用いて σ_t を算出することにより第2項を求めることが出来る[2]。

$$\sigma_t = n \cdot T_{web} / A_s \quad (2) \quad T_{web} = A_{web} \cdot \sigma_t \quad (3)$$

ここで、 n : プリズムに含まれているウェブの個数(6個)
 T_{web} : ウェブの1個あたりの引張強度($41 \text{ kgf/cm}^2 \times 37 \text{ cm}^2 = 1500 \text{ kg}$)
 A_s : プリズムのフェイスシェル面の全面積($59 \text{ cm} \times 39 \text{ cm} = 2310 \text{ cm}^2$)
 A_{web} : ウェブの1個あたりの断面積(37 cm^2)
 σ_t : コンクリートブロックの引張強度
(ただし、ここでは曲げ強度 $\sigma_b = 41 \text{ kgf/cm}^2$ で代用した)

式(2)より、 $\sigma_t = 3.9 \text{ kgf/cm}^2$ が得られ、その値より第2項は22.6tonとなる。表-5より直接得られた値より若干大きい、引張強度の方が曲げ強度よりも小さいことを考えるとほぼ妥当な結果であると思われる。

図-5にOR3Jの中段ブロックのフェイスシェルのX方向のひずみとウェブのY方向のひずみの挙動を示す。同図より、フェイスシェルとウェブに生じている変形は、引張成分の方が曲げ成分よりも卓越していることが認められた。従って、ひずみの実測値及び文献3のFEM解析結果よ

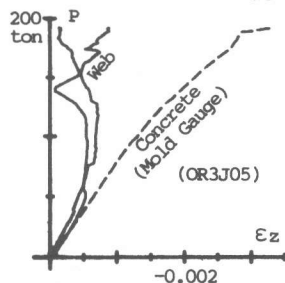


図-4 ウェブと充填コンクリートのたてひずみの挙動

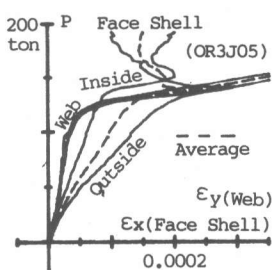
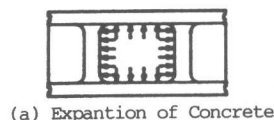
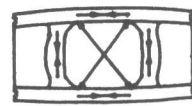


図-5 組積単体の変形状



(a) Expansion of Concrete



(b) Reaction Mechanism

図-6 組積単体の抵抗機構

り、図-6(a)のように充填コンクリートが膨張すると、同図(b)のようにフェイスシェルとウェブは、主として引張材として、また、充填コンクリートは、対角方向に圧縮材として作用しているものと考えられる。

5. HBシリーズの最大耐力の検討

HB3Jの最大耐力を2倍した値は、OR3Jの最大耐力よりもCW3Jの最大耐力に近い値となった。組積単体による充填コンクリートへの拘束力が図-6(b)に示す機構により生じると仮定すると、HBシリーズの空洞部はすべて解放型であるため、充填コンクリートは組積単体からの拘束をほとんど受けていないものと考えられる。従って、式(1)の第2項を0とした式でHB3Jの最大耐力は推定できる。表-5で、OR3Jと充填コンクリートの養生条件が比較的近いCWNJを第1項の値とし、第3項の値としてUG1Jの強度を用いると、 $0.5 \times (98 + 71) = 85 \text{ ton}$ となり、HB3Jの実験値とよく一致しており、実験的にも、また、推定式からもHB3Jでは組積単体の形状の相違により充填コンクリートに拘束力が生じなかったことが明らかとなった。

6. まとめ

各種の比較実験から、コンクリートブロックからなる組積プリズムの圧縮強度は文献2で提案した推定式(式(1))でほぼ推定できることが確認された。また、本実験で得られた新たな知見を以下に示す。

- (1) 充填コンクリートの力学的性質は、コンクリートシリンダーのものと全く異なっており、組積プリズムの最大強度を精度良く推定するためには、充填コンクリートの圧縮強度を正確に評価することが重要である。
- (2) 組積プリズム中の組積単体の負担圧縮力の推定には、組積単体を直接圧縮試験した結果を用いると、実験値とよく一致する。
- (3) 組積単体の拘束による充填コンクリートの圧縮強度の増加分は、ウェブの引張強度を用いた推定式(式(2)及び(3))でほぼ推定できる。
- (4) 組積単体を半分に切断したHB3Jでは、空洞部が解放型であるため、組積単体による充填コンクリートへの拘束がほとんど生じないため、式(1)の第2項を無視した推定式でその最大耐力をほぼ推定できる。また、HB3Jの最大強度は、OR3Jよりも低くなるため、試験法の簡便化の観点では安全側の評価が得られる。

謝辞 本研究を行うに当たり、近畿大学理工学部建築学科昭和63年度卒業論文生 田中克典君、豊田耕三君、長浜幸司君、増田宏君、及び同大学院生 西村康広君の協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 馬場、千歩：グラウトメイソンリーの強度および弾性係数の予測方法、第10回コンクリート工学年次論文報告集、1988年、第10巻、第2号、pp607-612
- [2] 村上雅英、窪田敏行：れんがプリズムの圧縮強度に関する実験的研究、第10回コンクリート工学年次論文報告集、1988年、第10巻、第2号、pp601-606
- [3] 村上雅英、窪田敏行：圧縮力を受ける組積プリズムの破壊挙動に関する解析的研究、第11回コンクリート工学年次論文報告集、1989年