研　究　速　報

UDC 699.841/.842：624.012.3

有開口RM造梁の耐震実験

Seismic Test on Reinforced Concrete Block Beam with Opening

李　鴻君*・隈澤文俊*・中埜良昭*・岡田恒男*

Hong-Jun LI, Fumitoshi KUMAZAWA, Yoshiaki NAKANO and Tsuneo OKADA

1．研究目的

著者らは数年間にわたり，コンクリートブロックユニットの空洞部に鉄筋を配しコンクリートを全充填した新しいタイプのRM造梁部材の耐震性能に関する研究を行っている[1)~3)]．一般に，梁部材には設備配管等のために開口を設ける場合がある．耐震設計においては急激な耐力低下を生じるせん断破壊を防止することが重要であるが，RM造梁については，この開口が試験体の耐力と変形性能に与える影響および有効な補強方法に関して明らかにされていない．そこで，今回，梁中央部に開口を有するRM造梁試験体を対象に，開口部の補強方法をパラメータとした静的加力実験を行い，せん断耐力および破壊時の変形性能について検討した．

2．試験体概要

試験体形状を図1に示す．試験体数は4体でいずれも打ち込み目地構法[注1)]による実大試験体である．各試験体諸元を表1，材料強度の実験結果を表2に示す．

表1　試験体諸元（共通事項）

長×成×幅(mm) [M/Qd]	曲げ補強筋 [Pt; %]	せん断補強筋 [Pw; %]
1400×800×191 [0.99]	2D-19 [0.42]	D10-@200 [0.19]

表2　材料強度（kgf/cm^2）

補強鉄筋；σ_y			プリズム強度[注2)]
D19	D16	D10	Fm
4,420	3,570	3,870	245

開口部の各試験体の補強方法を以下に示す：
GO1CJ：鋼管ユニットのみ；GO2CJ：鋼管ユニットおよび縦・横補強筋；GO3CJ：鋼管と鋼板に溶接した縦補強筋；GO4CJ：鋼管ユニットに放射状に溶接したコ型補強筋．試験体配筋を図2～3に示し，補強用鋼管ユニットは図4に示すように鋼管と鋼板を溶接したものを用いた．

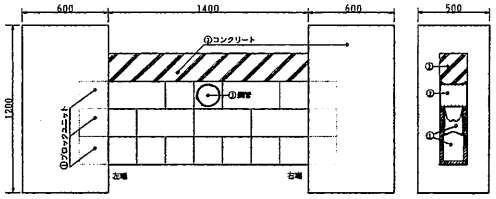


図1　試験体形状（単位：mm）

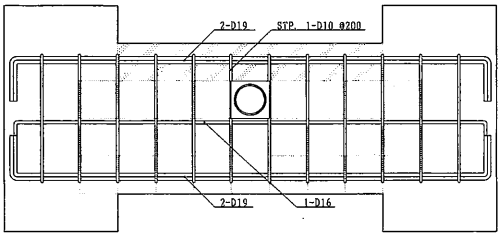
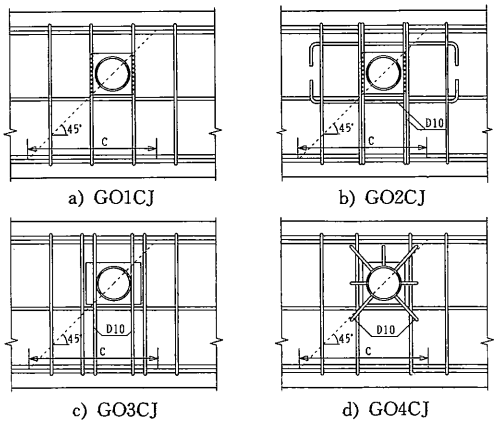
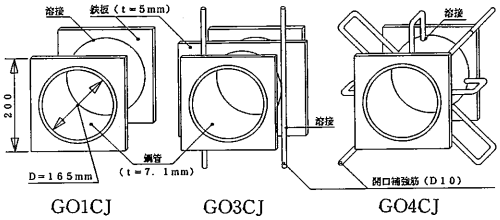


図2　試験体配筋（共通部分）



a) GO1CJ　b) GO2CJ　c) GO3CJ　d) GO4CJ

図3　開口部補強筋詳細



GO1CJ　GO3CJ　GO4CJ
GO2CJ

図4　補強用鋼管

*東京大学生産技術研究所　第1部

研　究　速　報

3．実　験　方　法

3.1　加力方法

この実験シリーズは，本所千葉実験所・構造物動的破壊実験棟で行った．加速装置の制約上，試験体を立てた状態で加力を行い，試験体の中心が反曲点となるようにアクチュエータを設置し，逆対称モーメントによる曲げ・せん断力を加えた．加力履歴は，部材角R＝1/2000 rad.で1サイクル，R＝1/400 rad.，R＝1/200 rad.，R＝1/100 rad.で2サイクルずつ，R＝1/50 rad.で1サイクルの正負漸増繰り返しとした．加力装置を図5に示す．

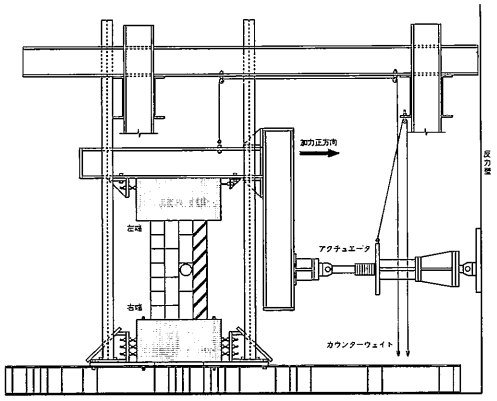


図5　加速装置

3.2　変位および歪の測定方法

図6に変位測定位置を示す．部材変形量（加力ビームの面内回転および試験体の面外のねじれの影響を考慮）を算出するために，試験体両端のコンクリート・スタッブ間にL型の治具を介して4点1組の変位計を2組設置し，一方は大変形時計測用，他方は初期剛性検討用とした．また，試験体の曲げ変形とせん断変形の成分の分解および変形分布を検討するために，各標点間の伸縮量を測定した．また，縦，横補強筋の歪度を測定した．

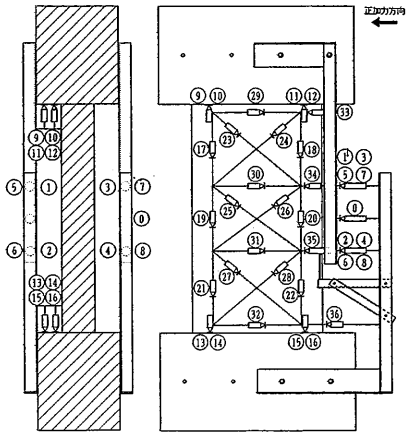


図6　変位計位置

4．実　験　経　過

各試験体のQ−δ曲線および亀裂状況の写真を図7に示す．初期亀裂の発生やその進展は4体ともほぼ同様な傾向であった．荷重が7.81～8.50 tonf（τ＝5.11～5.56 kgf/cm^2，τは孔の有無に拘らず，慣用の公式によるτ＝Q/bj）となった時に試験体とスタブの接合部に曲げ亀裂が発生した．荷重が13.71～16.40 tonf（τ＝8.97～10.73 kgf/cm^2）の時に試験体両端隅部で曲げせん断亀裂が発生した．その後，亀裂位置が試験体の中央部に移行し，開口部を目指す斜めのせん断亀裂が多数発生し，特にGO3CJとGO4CJでは開口の周囲の亀裂が著しく増加した．いずれの試験体も部材角（左右スタブの相対変位を内法スパンで除した値）R＝1/158 rad.～1/100 rad.の時に最大耐力に達し，その後の加力で対角線状に大きな斜め亀裂が貫通した．部材角R＝1/50 rad.のサイクルでは4体ともに亀裂の幅がさらに広がり，GO3CJは開口上部のブロックのフェイスシェルが剝離し，コンクリートがはらんだ．GO4CJでは開口部の上下両側のコンクリートが激しく損傷を受けたが，開口部の左右両側部では亀裂の本数が著しく少なかった．各試験体は最終的にはせん断破壊した．

5．実　験　結　果

5.1　初期剛性

逆対称曲げ，せん断力を受ける有開口梁の初期剛性は曲げ，せん断変形を考慮した線材理論より計算した．初期剛性の計算モデルは図8に示すように並列バネと直列バネの原理を用いた．なお，実験値は曲げ亀裂発生時の割線剛性とした．実験値と計算値を表3に示すが，いずれの試験体も実験値は計算値の約半分であった．

表3　初期剛性（×10^5 kgf/cm^2）

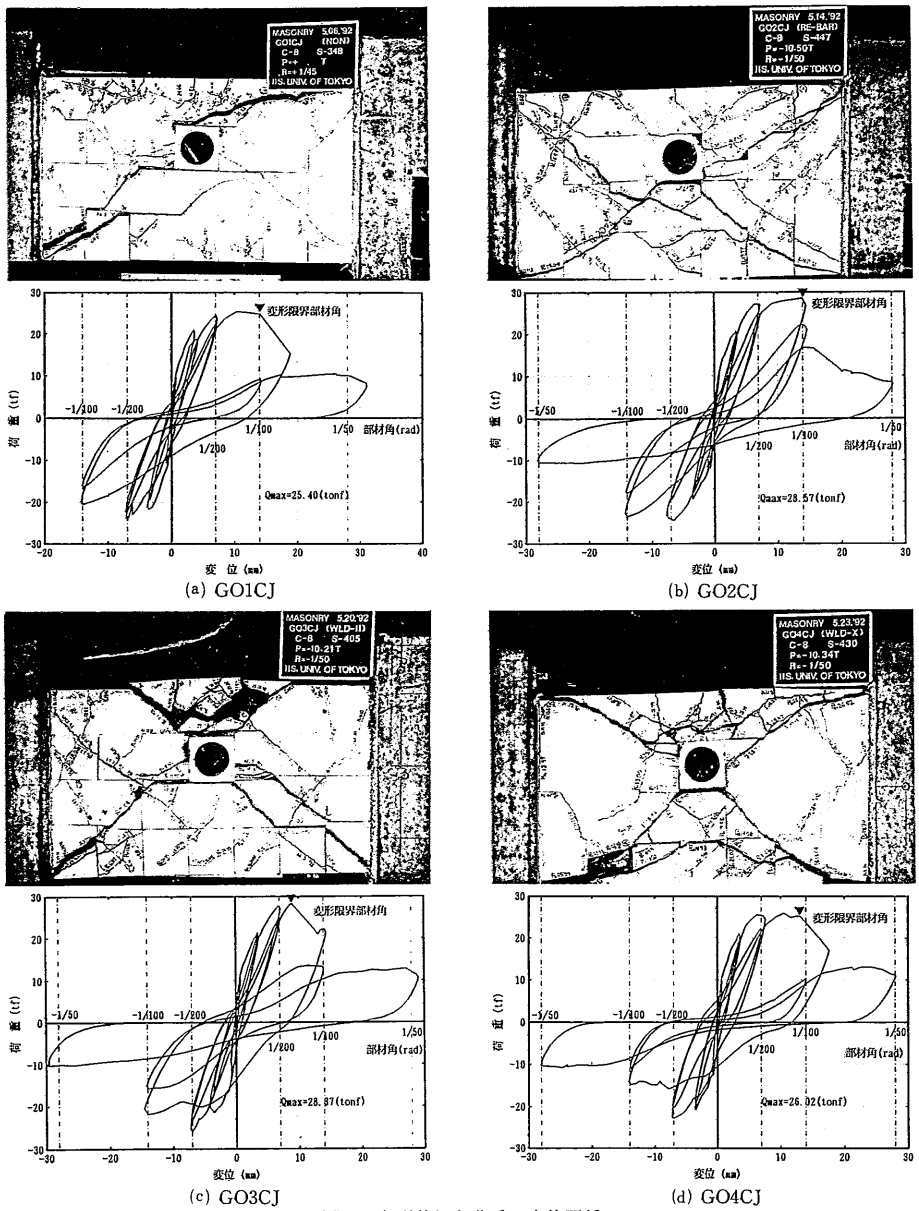
試験体	実験値	計算値	実／計
GO1CJ	1.95	3.44	0.57
GO2CJ	1.66		0.48
GO3CJ	1.90		0.55
GO4CJ	1.58		0.46

5.2　終局耐力

曲げ・せん断終局耐力は鉄筋コンクリート有開口梁の各耐力の0.9倍として算定した．

曲げ終局強度

$$Q_{mu}=0.9(a_t\cdot\sigma_y\cdot d)\cdot 2/L \quad (kgf)$$



(a) GO1CJ　(b) GO2CJ

(c) GO3CJ　(d) GO4CJ

図7　亀裂状況と荷重—変位関係

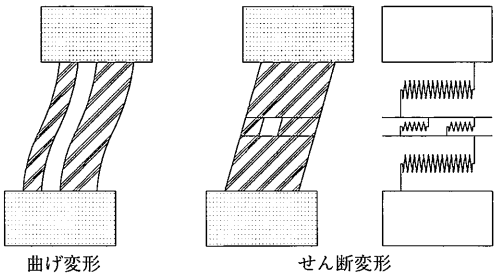


図8　初期剛性計算モデル

せん断終局強度

$$Q_{su}=0.9\left\{\frac{0.0543\cdot Pt^{0.23}\cdot(F_m+180)}{M/(Q\cdot d)+0.12}\left(1-\frac{1.61H_o}{D}\right)+2.7\sqrt{P_{wo}\cdot\sigma_{wy}}\right\}\ b\cdot j \quad (kgf)$$

平均有効応力強度　$\tau=Q/(b\cdot j)$　(kgf/cm^2)

ここで Q_{mu}：曲げ終局強度，a_t：曲げ補強筋の断面積，σ_y：曲げ補強筋の降伏強度，d：梁の有効せい，L：試験体の長さ，Q_{su}：せん断終局強度，P_t：曲げ補強

研究速報

筋化，F_m：プリズム圧縮強度，M/(Q・d)：シアースパン比，P_{wo}：開口補強筋比（$=\sum a_w(\sin\theta+\cos\theta)/(b\cdot C)$），$\sigma_{wy}$：開口補強筋の降伏強度，b：梁幅，j：応力中心間距離，H_o：開口の内径

試験体の開口補強率は補強筋の有効範囲C領域の補強筋により算定した（図3に参照）．松下ら[6]の実験によると，横補強筋は強度上はほとんど効果がないので，GO2CJのせん断耐力算定時においては，横筋を無視した．実験値と計算値をまとめて，表4に示す．開口補強筋のないGO1CJ実験値が4体の中で最も低かった．GO2CJとGO3CJは最大耐力がほぼ等しいことから，GO3CJ鋼管中央部にあるスチフナプレートの耐力影響は少ないことがわかる．GO4CJは，放射状補強筋と材軸と45°の角度を成すため，斜めせん断亀裂の幅が広くなると放射状補強筋とコンクリートの付着力が失われた．最大耐力は開口補強筋のないGO1CJとほぼ同じであり，放射状補強筋の補強効果はほとんど見られなかった．

表4　最大耐（tonf）［応力度τ（kgf/cm^2］

試験体	実験値	計算		実／計	
		曲げ	せん断	曲げ	せん断
GO1CJ	25.40 [16.62]	23.16	19.66 [12.87]	1.10	1.29
GO2CJ	28.57 [18.70]		21.88 [14.32]	1.23	1.31
GO3CJ	28.37 [18.57]		21.88 [14.32]	1.22	1.30
GO4CJ	26.02 [17.03]		21.28 [13.93]	1.12	1.22

5.3 変形性能

急激な耐力低下が生じた時点の部材角として定義した試験体の限界部材角を表5に示す．

GO1CJの限界部材角はR＝1/100 rad.であるが，次のサイクルにおける耐力が最大耐力の38％であった．GO2CJは限界部材角はR＝1/101 rad.で，次サイクルにおいては最大耐力の約80％の耐力を保持し，横補強筋は変形性能を高めるのに寄与している．GO3CJは限界部材角はR＝1/158 rad.しか達しなかった．GO4CJは限界部材角はR＝1/107 rad.であるが，次サイクルにおいては最大耐力の42％の耐力しか保持できなかった．変形性能に関して放射状鉄筋の補強効果はほとんど見られない．

表5　最大耐力と限界部材角

試験体番号	最大耐力（tonf）	限界部材角（rad）
GO1CJ	25.40	1/100
GO2CJ	28.57	1/101
GO3CJ	28.37	1/158
GO4CJ	26.02	1/107

限界部材角はほぼ等しいが，次サイクルにおいてはGO2CJが最大耐力の約80％の耐力を保持し，変形性能が最も優れている．

7．ま　と　め

RM造有開口梁は開口周辺を適切に縦筋で補強すれば梁の最大耐力に対して有効性が確認できる．横補強筋は強度上効果はみられなかったが，変形性能を高めるには効果的である．今回の補強方法の中ではこの縦・横筋による補強が最善のものと評価できる．

（1992年9月30日受理）

参考文献

1) 呉ら：「組積造に関する日米共同大型耐震実験研究，その(11)梁の曲げ性状」日本建築大会梗概集．1985, 10 pp. 1103−1104
2) 隈澤ら：「同上，その(15)梁の曲げ性状」日本建築大会梗概集．1986, 8 pp. 1161−112
3) 隈澤ら：「同上，その(20)スパイラル補強付き重ね継手を有する梁の曲げ性状」日本建築大会梗概集．1987, 10 pp. 769−770
4) 建設省建築研究所日米大型耐震研究委員会日米共同組積造研究推進委員会：「中層RM構造設計指針（案）・施工指針（案）について」建築研究報告．No. 132 1992, 3
5) 同上：「中層RM構造・構造検討書」
6) 松下清夫ほか：「鉄筋コンクリート有孔ばりに関する研究，その(1)」日本建築学会論文報告集．第63号，1959, 10 pp. 597−600

注1）打ち込み目地構法は互いに隣接するRMユニットによって構成される目地部の縦横間隔部をグラウトコンクリートの打設時に充填接着することにより部材を構成する特殊な構法．この構法により目地モルタルが不要となる

注2）ここでは基本型コンクリートブロックユニットを3段に組積にし，グラウトコンクリートを全充填したものをプリズム試験体称し，その一軸圧縮強度をプリズム強度と言う