

論文

[2038] 偏心開口を有する鉄筋コンクリート梁の実験研究

正会員○大須賀 浩 (東京工業大学大学院)

正会員 林 静雄 (東京工業大学工業材料研究所)

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材に貫通口を設けることは施工上よく行なわれるが、このことは当然部材の性状に影響を与え、耐力の低下や、強震時の部材の破壊がその箇所に集中するという好ましくない結果をもたらす。さらには、一様な部材に開口が存在することによる不連続性が部材に与える力学的影響の解明に対する興味も含めて、開口のある部材の無開口の部材に対する耐力低下の割合や、有効な補強方法を求める研究は比較的古い時代から行なわれてきた。それらによって有効な補強方法の提案や、実用的な設計式(実験式)の誘導も行なわれ[1]、最近では塑性理論をもとにした設計法の提案にまで至っている[2、3]。

合理的な設計式の確立には力学的メカニズムに対する明確な認識が不可欠であり、そのためには今後とも広く実験的な研究を行なっていく必要がある。本研究では、開口径、梁成方向の偏心量、補強金物の有無、その種類、をパラメータとして実験を行なった。

2. 実験概要

試験体は合計20体である。試験体一覧を表-1に示す。

試験体形状を図-1に示す。試験区間の部材断面は $b \times D = 30.0 \times 55.0$ (cm)、スパンは200.0 (cm)、両端にスタブとして各120.0 (cm)の加力区間をもつ。せん断スパン比(a/d)は2.0、主筋には異形鉄筋D22を使用し、かぶりは5.0 (cm)、引張り鉄筋比(P_t)は0.77 (%)である。あばら筋・補強金物には異形鉄筋D10を用い、所定の形状に成形した後溶接した。補強金物は以前報告したものと同形状のものである[4](図-2)。無開口区間のあばら筋比(P_w)は0.24 (%)である。試験体端部の定着破壊を防ぐために厚さ16mmの鉄板プレートに主筋を溶接した。

表-1. 試験体一覧

試験体番号	開口径 (cm)	偏心 (cm)	補強金物
No.1	6.0	0.0	—
No.2	9.0	0.0	—
No.3		5.0	—
No.4		10.0	—
No.5		0.0	A
No.6		10.0	A
No.7		12.0	0.0
No.8	5.0		—
No.9	10.0		—
No.10	10.0		A
No.11	15.0	0.0	—
No.12		5.0	—
No.13		8.5	—
No.14		0.0	A
No.15		5.0	A
No.16		8.5	A
No.17		0.0	B
No.18		8.5	B
No.19	18.0	0.0	—
No.20	—	—	—

表-2. 材料の力学的性質

○鉄筋の力学的性質

種別	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング率 (10 ⁶ kgf/cm ²)
D22	9285	11170	1.75
D13	3660	5060	1.92
D10	3780	5940	2.00

○コンクリートの力学的性質

試験体番号	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング率 (10 ⁶ kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
No.1	289	0.211	23.8
No.2	325	0.245	28.7
No.3	289	0.211	23.8
No.4	289	0.211	26.5
No.5	240	0.197	20.2
No.6	240	0.197	21.4
No.7	291	0.225	24.9
No.8	291	0.225	29.2
No.9	291	0.225	22.8
No.10	291	0.225	28.8
No.11	266	0.226	26.5
No.12	266	0.226	21.4
No.13	266	0.226	21.5
No.14	285	0.237	21.5
No.15	285	0.237	18.6
No.16	285	0.237	23.2
No.17	246	0.229	22.1
No.18	246	0.229	22.1
No.19	266	0.226	21.5
No.20	285	0.237	21.2

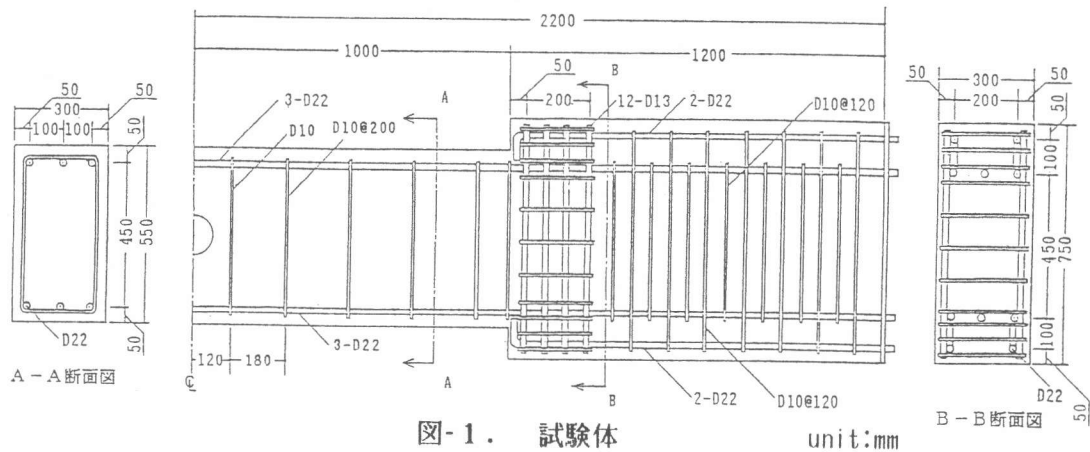


図-1. 試験体

unit:mm

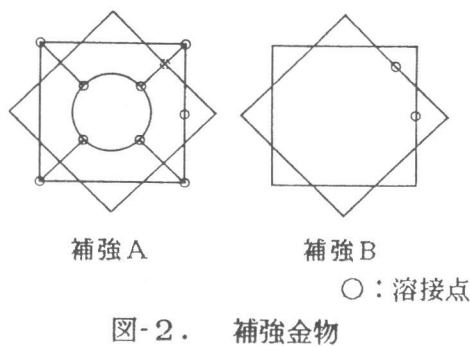


図-2. 補強金物

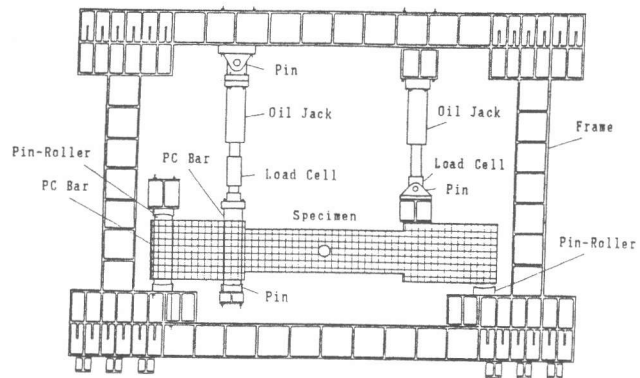


図-3. 加力装置

材料の力学的性質を表-2に示す。せん断破壊を曲げ降伏に先行させるために主筋の異形鉄筋D22に焼入れを施した。

加力装置を図-3に示す。載荷方法は逆対称載荷とし、試験区間が逆対称曲げモーメントの状態となるようにした。加力は一方向単調加力とした。

偏心は、梁成の中央を基準とし、この位置に開口の中心がある時を偏心=0とした。

3. 実験結果および考察

最大耐力一覧と諸設計式との比較を表-3に示す。本実験では複数の最終破壊モードが観察された。それも表中に示す。開口のないNo.20の耐力が低い、これは付着割裂破壊を起こしたためであると考えられる。

開口があり、補強を施していないものは、No.1、No.2を除いてすべて開口脇に生じたひび割れが荷重の増加とともに進展し、最終的に主筋ぞいに卓越していくと言う、いわゆるせん断引張り (Shear Tension Failure) 破壊型の破壊モードを示した。典型例を図-4に示す。これに対し、No.1は開口部に影響されず、曲げせん断ひび割れが卓越するせん断破壊のモード、No.2および補強をしたものはおもにせん断圧縮破壊型の破壊モードを示した。典型例を図-5に示す。補強量の少ないNo.17、No.18は開口脇のひび割れが卓越するとともに、主筋ぞいに付着割裂破壊が見られた。

補強のない梁の開口脇の卓越ひび割れは開口径によってやや違いが見られた。すなわち、図-6に示す2種類の卓越ひび割れが存在する。①を開口部対角ひび割れ、②を開口部接線ひび割れと仮に呼ぶ。この実験では開口径が12cmまではおおむね開口部対角ひび割れが卓越し、開口径15cmのものは開口部接線ひび割れが卓越した。開口径18cmのものは両者が卓越した。

偏心=0で補強のない部材の、開口径の大きさによる耐力比較を図-7に示す。開口径9cmのものが大きめの耐力が出ているが、これはコンクリートの強度がやや高く出たために破壊モー

表-3. せん断耐力(Q_u)の実験値と計算値の比較

試験体番号	Q_u (tf) (実験値)	Q_u (tf) (広沢式)	Q_u (tf) (市之瀬式)	(実験値) (広沢式)	(実験値) (市之瀬式)	最終破壊モード
No.1	26.0	22.2	37.9	1.17	0.69	せん断
No.2	32.0	21.8	36.2	1.47	0.88	せん断
No.3	26.1	20.9	34.3	1.25	0.76	対角
No.4	21.2	20.9	34.3	1.01	0.62	対角
No.5	33.6	32.8	—	1.02	—	せん断+割裂
No.6	28.1	32.8	—	0.86	—	せん断
No.7	23.1	19.7	30.8	1.17	0.75	対角
No.8	20.3	19.7	30.8	1.03	0.66	対角
No.9	23.4	19.7	30.8	1.19	0.76	対角
No.10	29.9	32.6	—	0.92	—	せん断
No.11	24.1	17.9	25.9	1.35	0.93	対角+接線
No.12	23.0	17.9	25.9	1.28	0.89	接線
No.13	23.4	17.9	25.9	1.31	0.90	せん断
No.14	31.0	31.2	—	0.99	—	せん断
No.15	32.0	31.2	—	1.03	—	せん断
No.16	28.0	31.2	—	0.90	—	せん断
No.17	28.3	27.3	—	1.04	—	対角+割裂
No.18	26.6	27.3	—	0.97	—	接線+割裂
No.19	23.0	16.7	22.5	1.38	1.02	対角+接線
No.20	27.8	—	—	—	—	せん断+割裂

註1:市之瀬式は下界式で計算

註2:せん断=開口部を通らないせん断ひび割れが卓越

対角 = 開口部対角ひび割れが卓越

接線 = 開口部接線ひび割れが卓越

割裂 = 付着割裂状のひび割れが見られたものまたはそれが卓越したもの

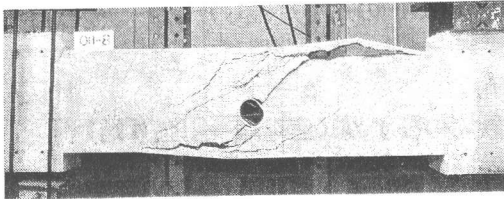


図-4. 破壊状況 (No.8)

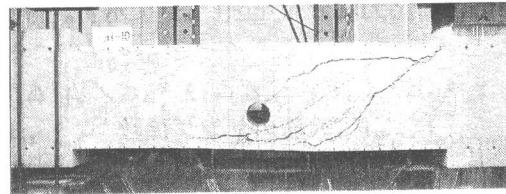


図-5. 破壊状況 (No.10)

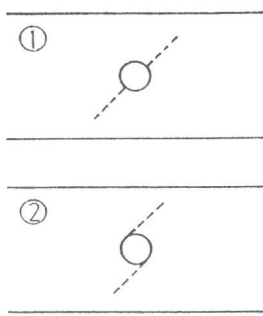


図-6. 開口周辺のひび割れモード

($H/D=0.22, 0.27, 0.33$; D =部材全高)の試験体ではほぼ一定の耐力となっている。

偏心の大きさによる最大耐力比較を図-8に示す。開口径9cm ($H/D=0.16$)のもの以外は、耐力の偏心の大きさに対する明らかな影響関係はないと言えよう。開口径9cmのものは偏心の大きさに比例して耐力が低下しているが、偏心=0で補強のないものの評価は前述

ドが異なったためと思われる。(あるいは表-3に示したように、開口径6cmのもの (No.1)の実験値が設計式の評価よりかなり小さいことから、実験的なばらつきなど何等かの要因によって開口径6cmの試験体の実験値が不自然に小さく出たためとも考えられるが、本実験データのみでは結論付けられないと考える。)

開口径 $H=12, 15, 18$ cm

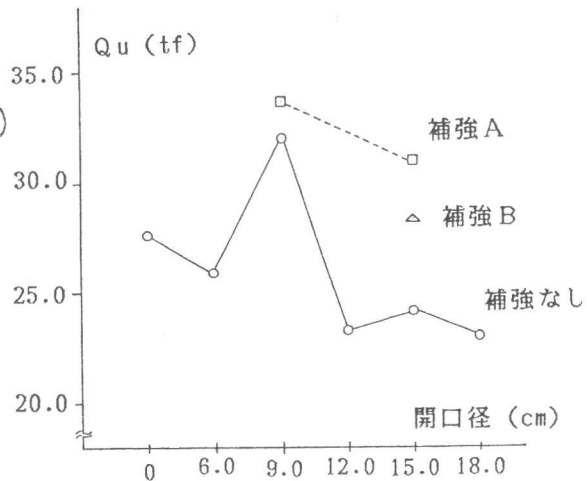


図-7. 開口径による耐力比較

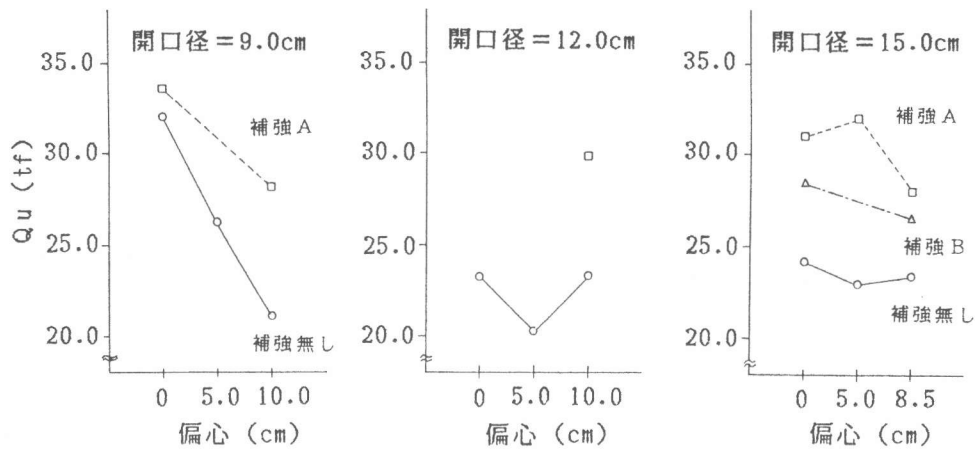


図-8. 偏心の大きさによる耐力比較

したように疑問点が残り、さらに詳細な検討が必要であろう。

図-9に開口径が15 cmのシリーズの荷重-変形曲線を示す。補強のないシリーズ(No. 11~13)から補強量を増やすにつれて(補強B; No. 14~16、補強A; No. 17~18)順次耐力が上昇していく様子がよく分る。

補強金物の効果は図-7、8、9に示すとおり、偏心量、開口径にかかわらず大きい、開口周辺の補強量の多いものの方が明らかに有効である。

主筋の付着応力度分布を図-10に示す。付着応力度は以下の式で定義した。

$$\tau = \sigma_s E \cdot (\epsilon_{s1} - \epsilon_{s1+1}) \cdot s_a / \psi \cdot \Delta l$$

$\sigma_s E$: 鉄筋のヤング係数

ϵ_{s1} : 鉄筋のひずみ (圧縮端→引張り端)

s_a : 鉄筋の断面積

ψ : 鉄筋の周長

Δl : ひずみ測定点間隔

付着応力度は、開口のある試験体No. 11、19 (偏心、補強なし) では開口の両側部分で卓越している。これは、補強のない場合、開口という断面欠損が存在するためにせん断ずれ面が開口を通り、そのせん断ずれ作用によって主筋が押し下げられ、力が主筋に流れたためと考えられる。

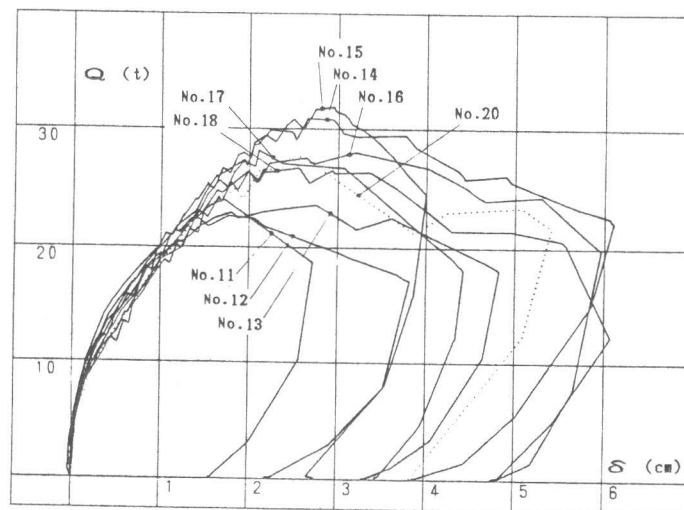


図-9. 荷重・変形曲線 (開口径=15 cm)

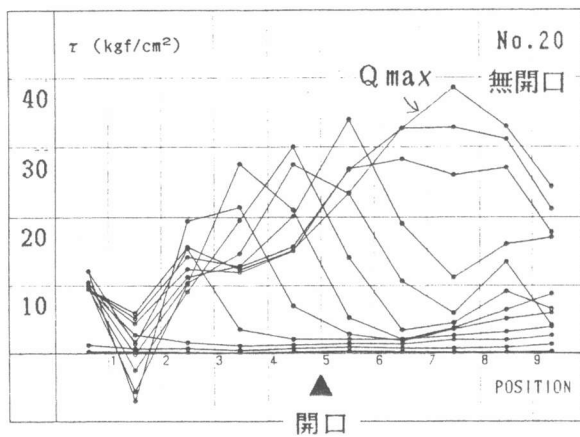
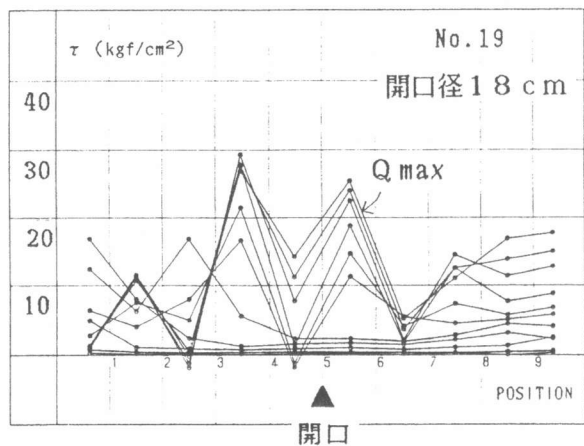
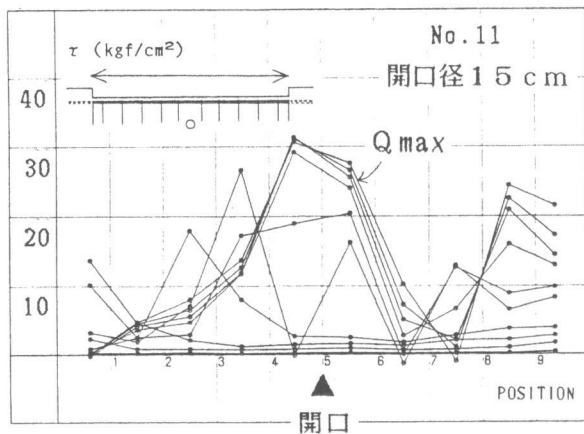


図-10. 付着応力度分布

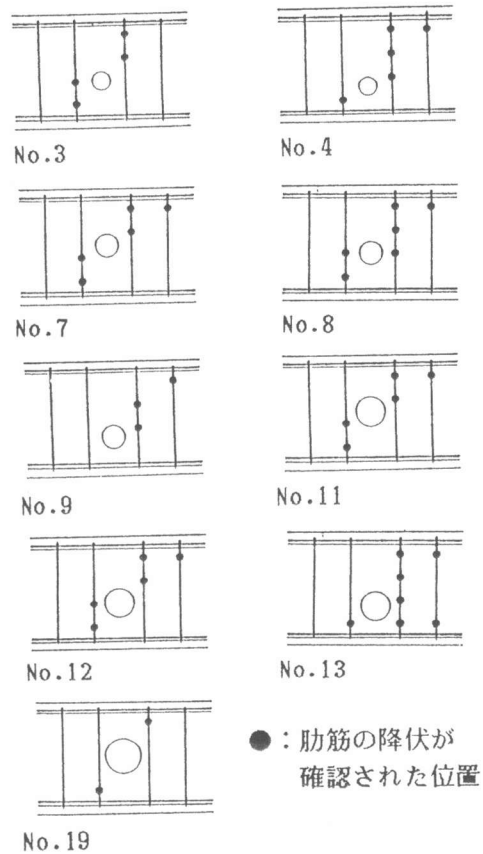


図-11. 開口周辺あばら筋が降伏した位置

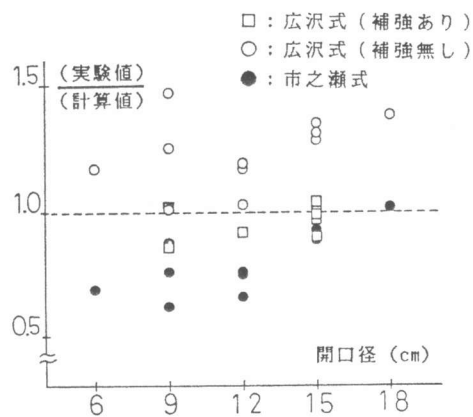


図-12. 設計式と実験値の相関

図-11に最大耐力時における開口脇各2列のあばら筋の降伏している点を示す(補強なしの試験体で開口周辺のひび割れが卓越しているもののみ。ゲージはあばら筋1本につき4箇所貼付)。開口が偏心しても、開口近傍の荷重支持は主に開口に隣接するあばら筋によって負担されていることが分る。

表-3、図-12にせん断耐力の実験値と既往の設計式による計算値との比較を示す。広沢式は実験値を概ねよく評価しているが、市之瀬式は開口径の小さなもので実験値が危険側となった。この理由として、本実験の試験体には開口のない梁に見られたように付着割列破壊のモードが開口のある梁にも影響を与えていると思われること、市之瀬式は終局強度設計法の一貫として付着

割裂破壊の検討を別途行うことを想定していること、等が挙げられる。

4. まとめ

本実験条件のもとで得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 最大耐力に関しては、開口径の大小に関わらず、偏心の影響は少ない。
- 2) 開口周りの破壊モードは開口の大きさによって変化する。
- 3) 無補強・偏心なしの試験体による比較では最大耐力の低下傾向は開口径が12cm以上でほぼ頭打ちとなった。
- 4) 本研究で使用した補強金物は有効であった。
- 5) 本実験で用いた部材のせん断耐力について、既往の設計式のうち広沢式は概ねよく評価しているが、市之瀬式は開口径の小さなもので実験値が危険側となった。しかし設計手法の流れからとくに問題はないと考える。

[謝辞]

東京理科大学教授 松崎育弘博士には日頃より有益な御助言を賜わっています。試験体製作に当って榊高組技術研究所の協力を得ました。補強金物・せん断補強筋は省建工業㈱の提供を得ました。主筋の焼入れには高周波熱練㈱の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 広沢雅也、清水 泰：鉄筋コンクリート造有孔梁のせん断強度と靱性、建築技術、1979.3
- 2) 市之瀬敏勝、横尾慎一：鉄筋コンクリート有孔梁のせん断設計法、コンクリート工学年次論文報告集、13-2、pp.303-308、1991
- 3) 津村浩三：開口を有する鉄筋コンクリート梁のせん断耐力、日本建築学会構造系論文報告集、第424号、pp.35-46、1991.6
- 4) 林 静雄、松崎育弘、下妻 泰：鉄筋コンクリート有孔梁のせん断補強に関する実験研究、コンクリート工学年次論文報告集、11-2、pp.87-90、1989