

隣接開孔を有する鉄筋コンクリート造梁のせん断強度

Shear Strength of RC Beams with Adjacent Openings

高橋 之*

Susumu Takahashi

Summary

In the Japanese standard, the space between adjacent openings on reinforced concrete (RC) beams is recommended to be larger than three times of its diameter. However, some experimental results of previous researches show that shear strength of RC beams with openings closer than the condition recommended in the Japanese standards was large enough. The failure plane of these beams across the adjacent openings, therefore, the stirrups between these openings might have contribution on the shear strength of the beam. In this research, an experimental study was conducted to investigate shear strength of RC beams with adjacent openings. The result indicates that shear strength of RC beams with adjacent openings closer than three times of its diameter is large enough if the failure plane is larger than a beam without opening.

キーワード：鉄筋コンクリート造梁，せん断強度，開孔，破壊面，あばら筋

Keywords：reinforced concrete beam, shear strength, opening, failure plane, stirrup

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説¹⁾（以下、RC規準）では、鉄筋コンクリート造梁に複数の円形開孔を配置する場合には、開孔の中心間距離を開孔の直径の3倍以上にすることを推奨している。また、開孔間の距離がそれよりも小さい場合には、図1のような軸方向補強筋を配筋することを推奨している。なお、図ではあばら筋は省略している。

しかし、既往の実験研究^{2), 3)}では、開孔が隣接することによって必ずせん断耐力が小さくなるとは言えない結果が示されている。隣接する開孔を有する梁では、せん断破壊面が大きくなるため、破壊面状のあばら筋は多くなる傾向にあり、そのことがせん断強度の低下を防止する可能性が指摘されている。

本研究では、隣接開孔を有する鉄筋コンクリ

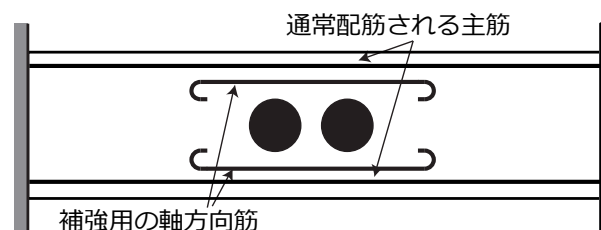


図1 補強用の軸方向筋(あばら筋は省略)

ト造梁の静的加力実験を行い、開孔の配置を実験変数とすることで破壊面やせん断耐力にどのような影響が出るかを調べた。

2. 試験体

2.1 試験体概要

試験体は1/2縮尺模型で制作した3体の鉄筋コンクリート造梁である。図2に試験体の配筋図を示す。試

* 大同大学工学部建築学科建築専攻

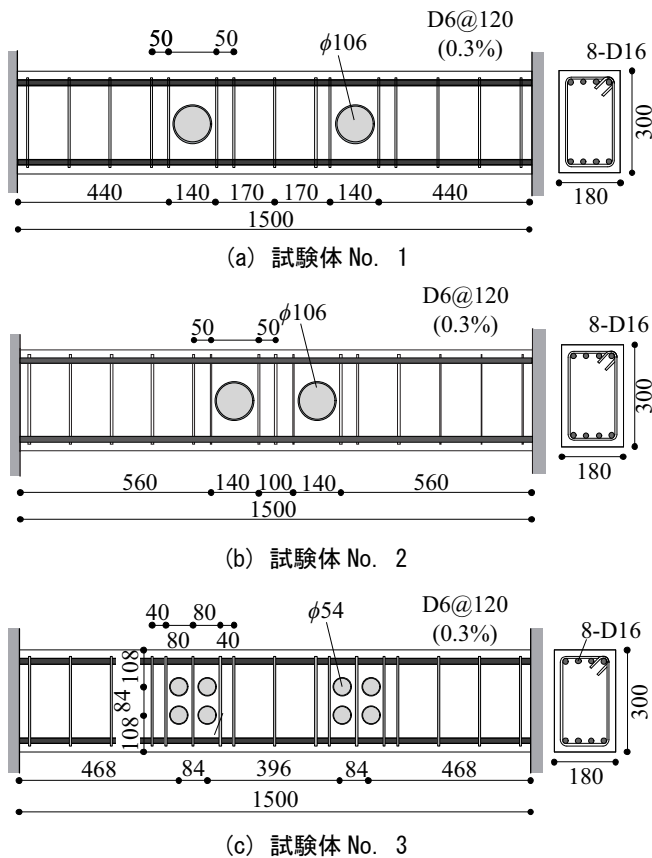


図2 試験体配筋図(単位: mm)

表1 鉄筋の材料特性

種別	降伏強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [kN/mm ²]
D16(SD390)	408	571	199
D6(SD295A)	342	523	180

験体は開孔の中心間距離が480 mm(開孔の直径の約4倍)の試験体No. 1, 開孔の中心間距離が240 mm(開孔の直径の約2倍)の試験体No. 2, 試験体No. 1の開孔の直径を半分にして, 開孔を8つに増やしたものである。梁断面は全試験体共通で, 梁幅が180 mm, 梁せい300 mmである。開孔は106 mm(梁せいのおよそ0.36倍)と54 mm(梁せいのおよそ0.2倍)の2種類である。

使用した鉄筋の材料試験結果を表1に示す。コンクリートは圧縮強度が33.8 N/mm², ヤング係数が25.4 kN/mm²である。

あばら筋の間隔は直径106 mmの開孔がある試験体No. 1, No. 2では, 開孔付近のあばら筋は50 mm, それ以外は120 mmで配筋されている。試験体No. 3の開孔両脇のあばら筋は40 mm間隔で配筋しており, 他の試験体よりも補強筋比が高くなっているが, これはRC規準において開孔補強筋として考慮されるあばら筋の本数を他の試験体よりも多くなることを目的として決定した。

表2 試験体の強度

	試験体 No.1	試験体 No.2	試験体 No.3
Q_{mu}	103kN		
Q_{su}	82kN		
Q_{su0}	70kN		63kN

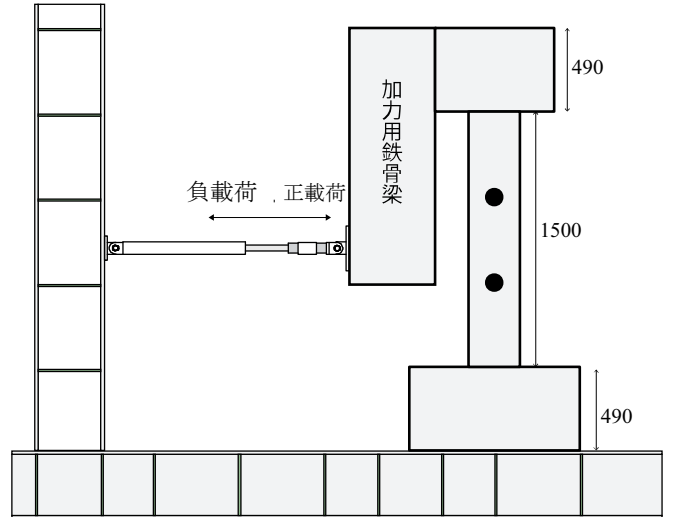


図3 加力装置(単位: mm)

2.2 加力方法

図3に載荷装置を示す。試験体は図のように梁の材軸が鉛直方向になるように設置した。加力は逆対称モーメントが作用するように鉄骨の梁を介して油圧ジャッキを取り付けた。なお, 試験体上部のスタブは回転拘束をしていないが, スタブの回転角を測定したところ, 最大耐力時までには0.1 %以内であった。

変形角1 %までの載荷は, 変位制御による正負繰り返し交番載荷とし, それ以降は正側のみ載荷を行い, 変形角2 %に達するか, あるいは, 水平力が最大値の80 %に低下するまで行った。

2.3 強度計算

RC規準および建築物の構造関係技術基準解説書³⁾に従って計算した試験体の耐力を表2に示す。試験体の曲げ降伏時せん断強度 Q_{mu} は以下の式で計算した。

$$Q_{mu} = \frac{M_u}{a} = \frac{0.9a_t\sigma_y d}{a} \quad (1)$$

M_u : 降伏曲げモーメント

a_t : 引張鉄筋断面積

σ_y : 引張鉄筋の降伏強度

d : 梁の有効せい

a : せん断スパン長さ

開孔がない位置でのせん断終局強度 Q_{su} は次式で計算した。

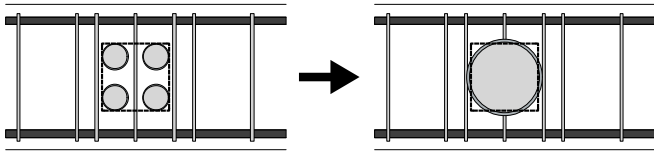


図4 試験体 No. 3 の開孔置換

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (QD) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} \right\} bj \quad (2)$$

F_c : コンクリートの圧縮強度

$M/(QD)$: せん断スパン比 b : 梁幅

p_w : せん断補強筋比 j : 応力中心間距離

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度

開孔を横切るときのせん断強度 Q_{su0} は次式で計算した。

$$Q_{su0} = \left\{ \frac{0.092 k_u k_p (F_c + 18)}{M / (QD) + 0.12} \left(1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_{ss} \sigma_y} \right\} bj \quad (3)$$

k_u : 有効せい d による係数

k_p : 引張鉄筋比 p_t による係数

H/D : 梁せい D に対する円形孔の直径 H の比

p_{ss} : 開孔脇のせん断補強筋比

σ_y : 開孔脇のせん断補強筋の降伏強度

本研究で用いた試験体の有効せいは266 mmであり、RC規準の解説図15.3によれば k_u の値はおよそ0.82となり、 $0.092 k_u k_p$ の値は0.062となる。しかし、試験体の設計時には、 $(1 - 1.61 H/D)$ の影響のみによる強度の比較に主眼を置き、式(2)との比較を行うために0.068を使用した(表2に記載した数値は0.068を使用した場合の計算値である)。試験体は全てせん断破壊先行型で設計し、開孔部を横切る破壊が生じるように設計した。

また、試験体No. 3の耐力計算の際には、図4に示

すような単独円形開孔に置換して式(3)を適用した。試験体No. 3のような配置の開孔部でのせん断終局強度の計算方法はRC規準では明示しておらず、開孔を包絡する四角形の開孔として扱うことになっている。この四角形と等しい面積となるような単独円形開孔に置換した。

3. 実験結果

3.1 試験体 No. 1 の破壊性状

図5に荷重変形関係およびひずみゲージの値を示し、図6にこの試験体の最終破壊状況を示す。荷重32 kNで試験体端部に最初のひび割れを確認することができ、このときの変形角は0.19%であった。その後、変形角1.2%であれば筋が降伏した。このときの荷重が92.2 kNであり、この値が最大耐力となった。主筋も降伏ひずみに達したが、最大耐力後にはひずみが減少した。試験体中央部のあばら筋は開孔周りのあばら筋のひずみよりも小さかった。

3.2 試験体 No. 2 の破壊性状

図7に荷重変形関係およびひずみゲージの値を示し、図8にこの試験体の最終破壊状況を示す。荷重-26.6 kNで試験体端部に最初のひび割れを確認することができた。このときの変形角は0.21%であった。その後、あばら筋S2は変形角1.35%、あばら筋S3は変形角1.55%、あばら筋S4は変形角1.25%でそれ

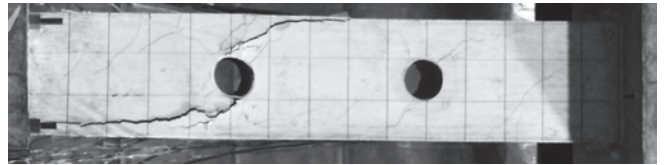


図6 試験体 No. 1 の破壊状況

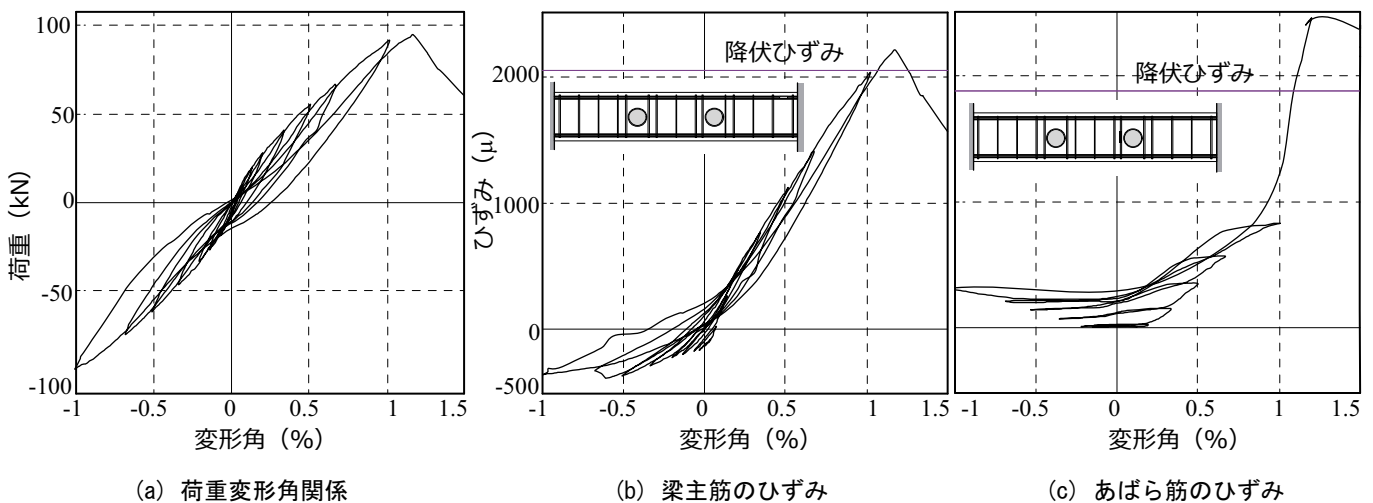


図5 試験体 No. 1 の実験結果

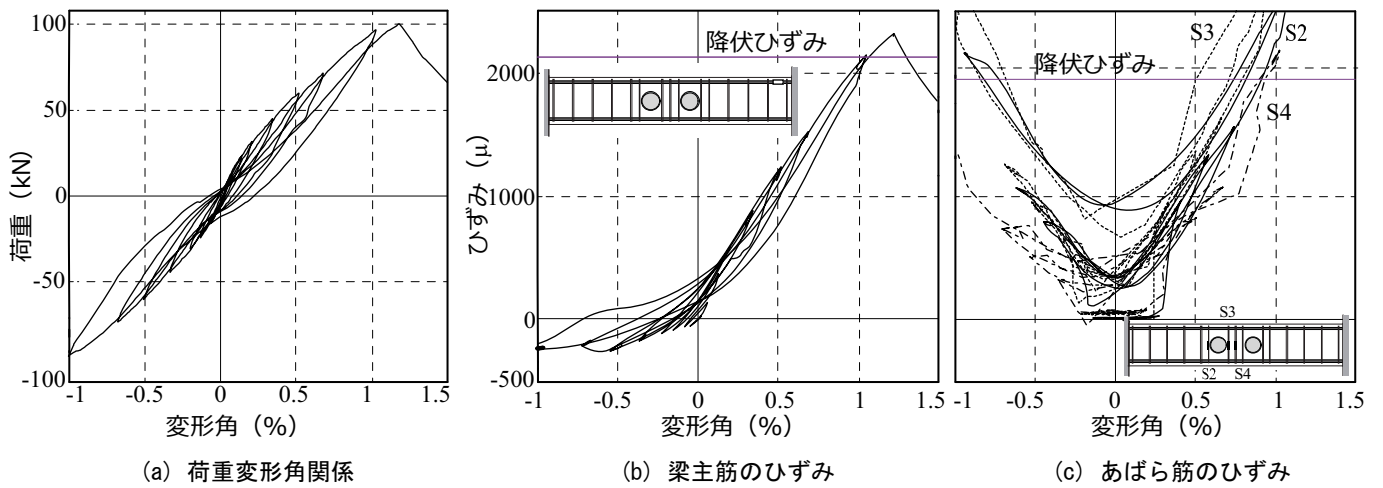


図7 試験体 No. 2 の実験結果

ぞれ降伏した。この試験体の最大耐力は1.18 %のときに記録した99.0 kNであった。この試験体はRC規準では推奨されない開孔配置であるにもかかわらず、最大耐力は試験体No. 1よりも7 %高い結果となった。試験体中央部でもあばら筋が降伏しており、2つの開孔を横切るせん断破壊であった。

3.3 試験体 No. 3 の破壊性状

図9に荷重変形関係およびひずみゲージの値を示し、図10に試験体の最終破壊状況を示す。荷重28.7 kNで試験体端部に最初のひび割れを確認することができた。このときの変形角は0.21 %であった。その後、あばら筋S2, S3は共に変形角1.75 %で降伏した。この試験体の最大耐力は変形角1.04 %のときの88.9

kNであり、全試験体の中で最も低かった。主筋のひずみは、最大耐力を記録した時点では、試験体端部よりも開孔付近のほうが大きくなっている。その後、開孔付近のあばら筋が降伏し、せん断破壊に至った。このことから、RC規準で推奨されている軸方向補強筋を配筋した場合には、最大耐力の上昇が期待できると考えられる。開孔周りのせん断補強筋比はこの試験体が最も大きい。開孔によるコンクリートの欠損もこの試験体が最も大きい。加えて、試験体No. 1とせん断破壊領域はほとんど変わらない。したがって、試験体No. 3のような開孔の配置では、開孔が隣接していてもせん断強度の確保が困難であることが分かった。

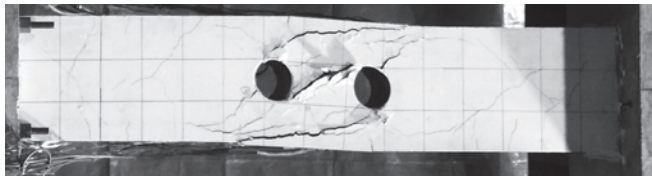


図8 試験体 No. 2 の破壊状況

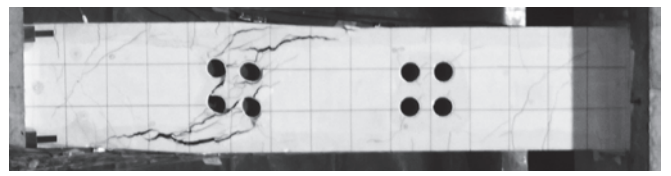


図10 試験体 No. 3 の破壊状況

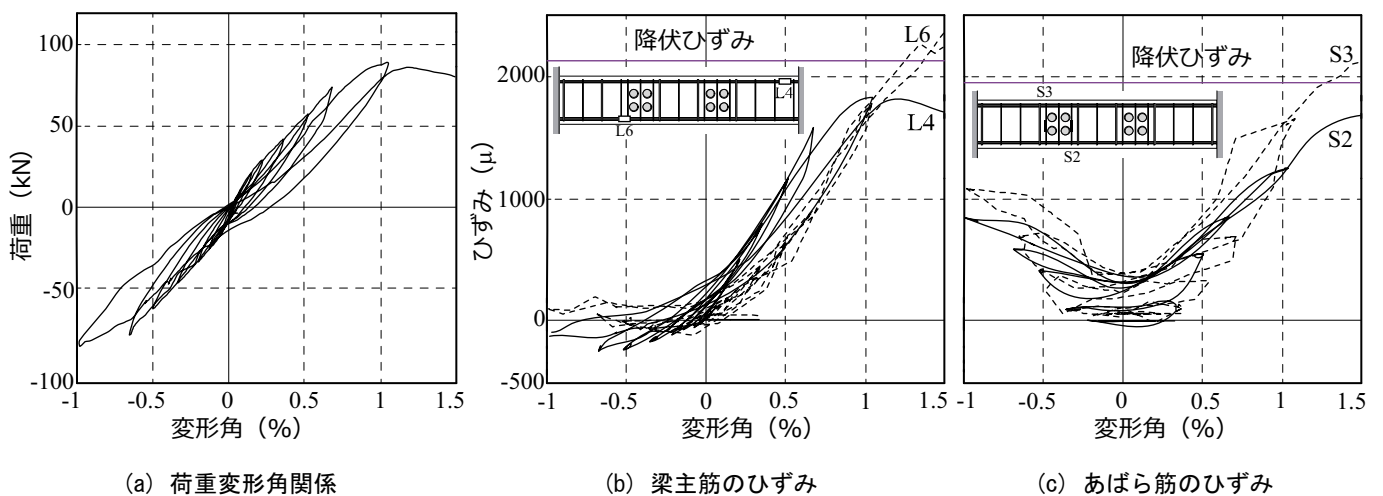


図9 試験体 No. 3 の実験結果

3.4 初期剛性の比較

変形角が0.2 %時の荷重は試験体No. 1, No. 2およびNo. 3でそれぞれ31.6 kN, 33.6 kNおよび31.2 kNであり、初期剛性に大きな差はみられなかった。文献3)でも開孔間の距離による初期剛性の違いはみられないという報告があり、それと同じ結果が得られた。

4. まとめ

隣接開孔を有する鉄筋コンクリート造梁の実験を行った結果、RC規準の推奨条件（開孔間距離が直径の3倍以上）を満たさない場合でも、せん断破壊面が大きくなる場合には、開孔間距離が十分に大きい試験体よりも大きなせん断耐力を有することが分かった。

また、小開孔が隣接して配置される場合には、RC規準では隣接する開孔を包絡する長方形開孔として扱うようになっている場合でも、単独開孔と比較して大幅な耐力低下は見られなかった。しかしながら、軸方向補強筋を配筋する場合には、最大耐力の上昇が期待できることが分かった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010. 2
- 2) 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 円孔をもつ有孔ばり小型試験体実験），日本建築学会論文報告集，第63号，pp. 597-600，1959，10
- 3) 中川翔太，高橋之：開孔間距離が異なる鉄筋コンクリート造有孔梁の実験，コンクリート工学年次論文集Vol. 39, No. 2, pp. 181-186, 2017. 7
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課ほか：建築物の構造関係技術基準解説書，2015. 6