

論文

[2091] 2個の孔を持つRC梁のせん断強度解析

市之瀬敏勝*1・小椋 紀行*2

1. はじめに

日本建築学会の指針[1]では、トラス理論に基づく有孔梁のせん断強度式が示されている。このモデルでは、孔の位置が上下しても、梁の強度は変化しない[2]。上下のずれによって片側の圧縮トラス幅が減少しても、もう片側の圧縮トラス幅が増大するので、同じ強度になるのである。このことは清水らの実験[3]でも確認されている。しかし、孔が複数個ある場合には、その相対的位置関係によりせん断強度が影響を受けることが考えられる。

著者らは先に、Strut & Tie モデルにより、有孔梁の孔の直径を変化させた場合や、補強筋の降伏強度を変化させた場合についてのせん断強度解析を行った[4]。本論文では、同じ方法により、孔が2つの梁で孔の位置を上下に変化させた場合の解析を行う。

2. 解析対象

図1に示す様な孔が2つの梁を解析する。せん断補強筋の間隔は200mm, 補強筋比 P_w は0.32%とする。補強筋降伏強度 σ_y とコンクリートの有効圧縮強度 σ_e との比は、 $\sigma_y/\sigma_e=20$ とする。

解析パラメータとして孔の位置の中心軸に対する上下のずれ量 Y_o が40, 20, 0, -20, -40 mm の4種類と、孔の直径 H が50, 90, 130 mm の3種類を用いる。ずれ量 Y_o は加力点に近づく方を正とする。つまり、図1のように2つの孔が圧縮ストラットの方向に並ぶときを $Y_o > 0$ とする。

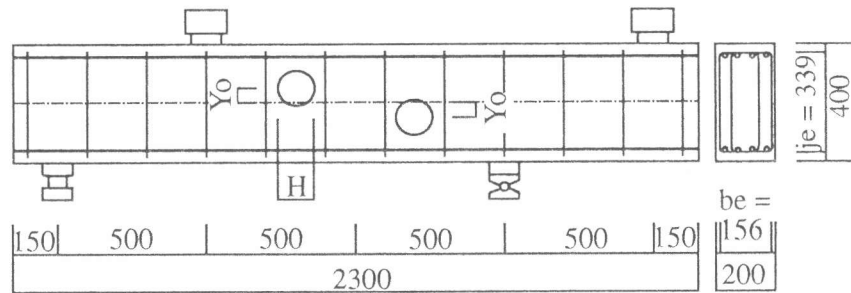


図1 解析対象の梁 (mm)

図2 梁の断面

3. 解析方法

有効領域の仮定：文献[4]と同じく肋筋の内側($b_e \times j_e$)だけがせん断力に寄与すると仮定する。

解析手順

① 図3に示す様なコンクリートの圧縮ストラットを想定する。図中のR2, R3などはストラットの圧縮力を、P2, P3などはストラットの垂直圧縮分力を表す。A, Bはストラットの分岐点を表わす。補強筋の釣合条件より以下の式(1)(2)を、加力点での釣合条件よりせん断力 V_u に関して式(3)を得る。

*1：名古屋工業大学助教授・工博 社会開発工学科（正会員）

*2：名古屋工業大学・大学院生 社会開発工学科（正会員）

$$\begin{aligned}
 P3 &= P8 & (1) \\
 P5 + P7 &= P4 & (2) \\
 V_u &= P2 + P9 = P3 + P4 + P5 + P9 & (3)
 \end{aligned}$$

②有効圧縮強度 σ_e を考慮すると，ストラットは図3の様な線ではなく実際には図4の様に幅を持つ。図中，長方形の領域は一方向に σ_e の応力を受け，二方向に σ_e の応力を受ける三角形の領域を介して合成される。また，図3ではR2,R3,R4,R5が点Aという一点に集まっているが，ストラットの幅を考慮すると，図4のようにまずR4とR5が合流して合成ストラットRAを形成し，R2,R3に接続することになる。点B近傍でも同様のことが起こる。このストラットについて以下に示す様な2つの条件を考慮する。

条件1：前述の三角形領域が肋筋内にある。

条件2：ストラット(合成ストラットを含む)は，図4に示す様に孔の内部を通らない。

③上記の条件の元で，せん断力 V_u が最大となるような $P3, P4, P5$ ，および分岐点A, Bの位置を求める。

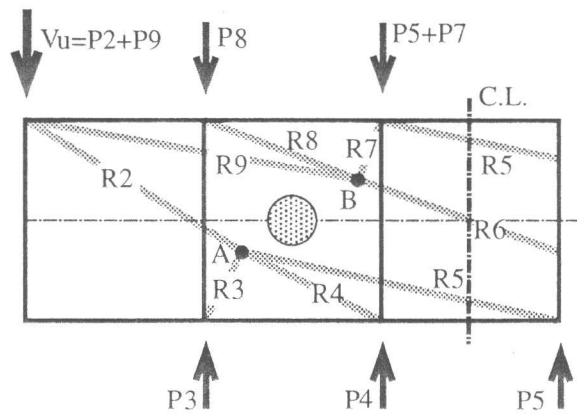


図3 トラスモデル

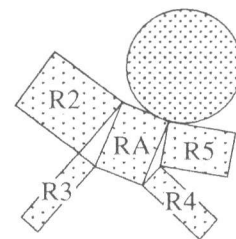


図4 A点近傍のストラットの実際

4. 孔径50mmの解析結果

図5, 図6, 図7にずれ量 $Y_0 = -40, 0, 40$ mm の場合のトラス詳細図を示す。また，図8にずれ量とせん断強度(各々のストラットのせん断強度への寄与分に分けて表示)の関係を示す。

①せん断強度 V_u の比較： 図8より，孔が上下どちらにずれてもせん断強度 V_u は低下することがわかる。これは以下の様な理由による。ずれ量が負の場合，図6と比較すると図5は，孔の間を通るストラット(R9→RB→R6・・・)はほとんど変化しないが，孔の外側を通るストラット(R2→RA→R5・・・)は孔の位置のずれによりかなり制限を受ける。その結果，図8に示す様にせん断力 V_u への $P9$ の寄与分はほとんど変化せず， $P5$ の寄与分がかなり低下する。また，ずれ量が正の場合，図6と比較すると図7は，孔の間を通るストラットは孔の位置のずれによりかなり制限を受ける。その結果，図8に示す様に $P9$ の寄与分がかなり低下する。一方，孔の外側を通るストラットは制限を受けるように見えるが，分岐点Aの位置が上昇しR5の角度が垂直に近づくためにストラットの垂直分力は全く変化しない。つまり，図8に示す様に $P5$ の寄与分は全く変化しない。

②せん断補強筋の応力： 図8の $P3=P8$ (孔の外側のせん断補強筋の受ける力)， $P4$ (孔の内側のせん断補強筋の受ける力) が一定であることから，すべての場合に孔の両側のせん断補強筋が降伏することが分かる。これは，孔径 H が有効せい j_e に対して比較的小さいため，ストラットR8, R4がほとんど影響を受けないためである。

5. 孔径90mmの解析結果

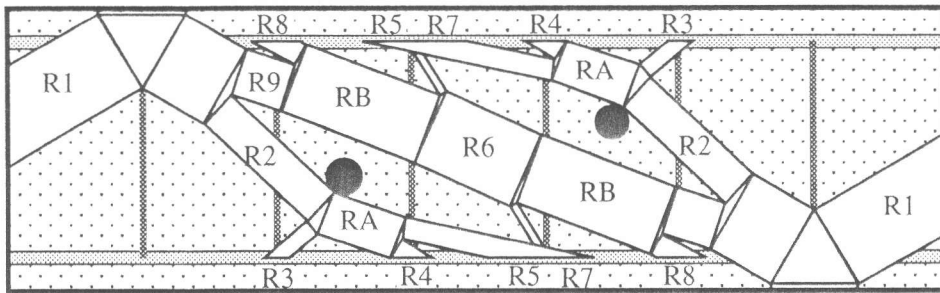


図5 H=50mm Yo=-40mmのトラス詳細 (Yo/je=-0.12)

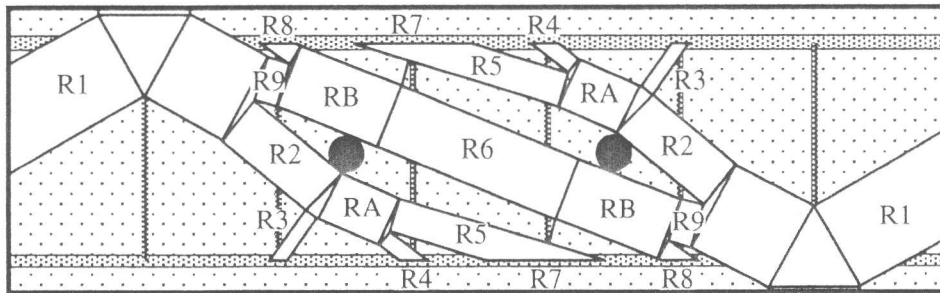


図6 H=50mm Yo=0mmのトラス詳細

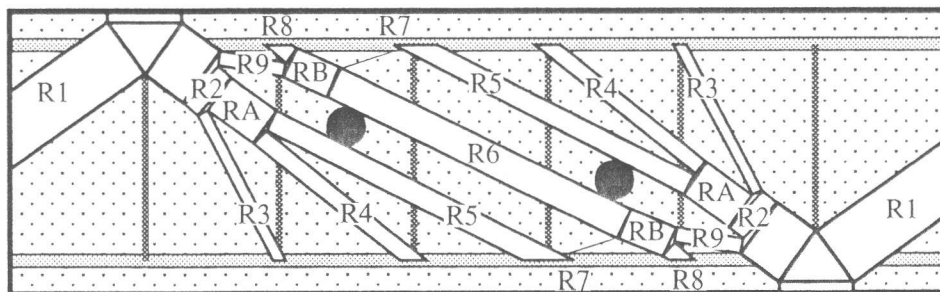


図7 H=50mm Yo=40mmのトラス詳細 (Yo/je=0.12)

図9, 図10, 図11にそれぞれずれ量Yo=-40, 0, 40mmの場合のトラス詳細図を示す。また, 図12にずれ量とせん断強度の関係を示す。

①せん断強度Vuの比較： 孔を負方向にずらすほどせん断強度Vuが上昇し, 孔を正方向にずらすほどせん断強度Vuが低下する。これは以下の理由による。ずれ量が負の場合は孔径50mmの場合と異なり, 図10で制限を受ける孔の間を通るストラットが図9では制限を受けなくなる。その結果, 図12に示す様に, P5の寄与分の低下分よりP9の寄与分の上昇分の方がせん断力により大きな影響を与える。一方, ずれ量が正の場合は孔径50mmの場合と同様の理由による。

②せん断補強筋の応力： 孔径50mmの場合と同様に, 孔の両側のせん断補強筋が降伏する。

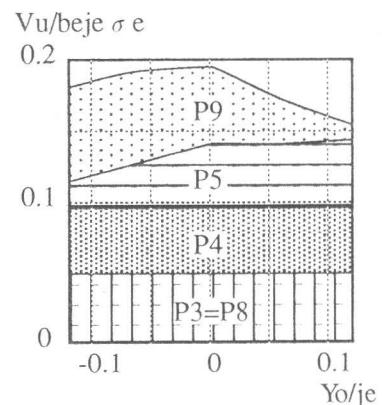


図8 H=50mmのずれ量とせん断強度の関係

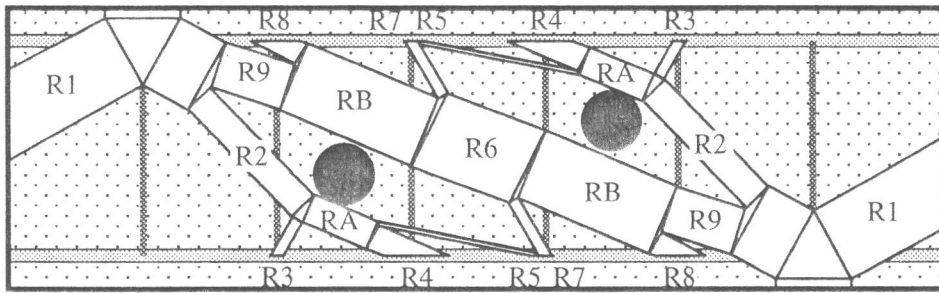


図9 H=90mm Yo=-40mmのトラス詳細 (Yo/je=-0.12)

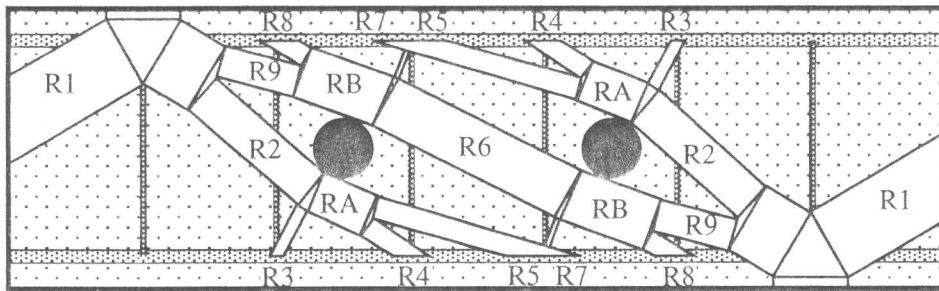


図10 H=90mm Yo=0mmのトラス詳細

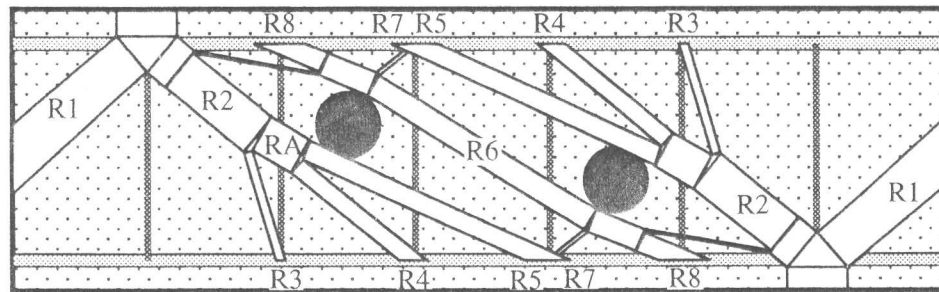


図11 H=90mm Yo=40mmのトラス詳細 (Yo/je=0.12)

6. 孔径130mmの解析結果

図13, 図14, 図15にそれぞれずれ量 $Y_o = -40, 0, 40$ mmの場合のトラス詳細図を示す。また, 図16にずれ量とせん断強度の関係を示す。

①せん断強度 V_u の比較: 孔径90mmの場合と同様であるが, より顕著な結果が見られる。

図16において, ずれ量が負の場合にP4の減少が見られる。これは, 孔径 H が有効せい j_e に対して比較的大きいため, 図14と比較すると図13では孔の外側を通るストラットR4の傾きが水平に近づき, その鉛直成分P4が減少するからである。しかし, 孔径90mmの場合と同様, P9の増大が著しいため, ずれ量が負の場合, 全体としてはむしろ強度は上昇する。ずれ量が

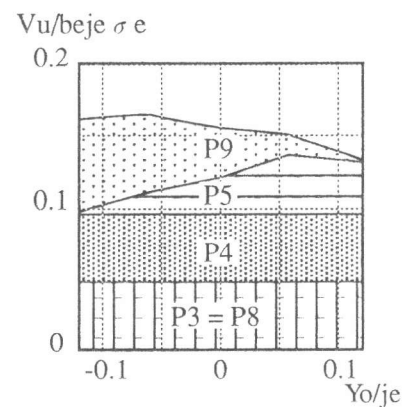


図12 H=90mmのずれ量とせん断強度の関係

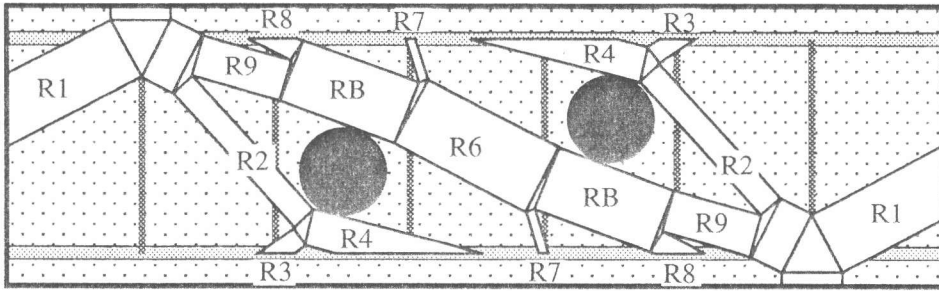


図13 H=130mm Yo=-40mmのトラス詳細 (Yo/je=-0.12)

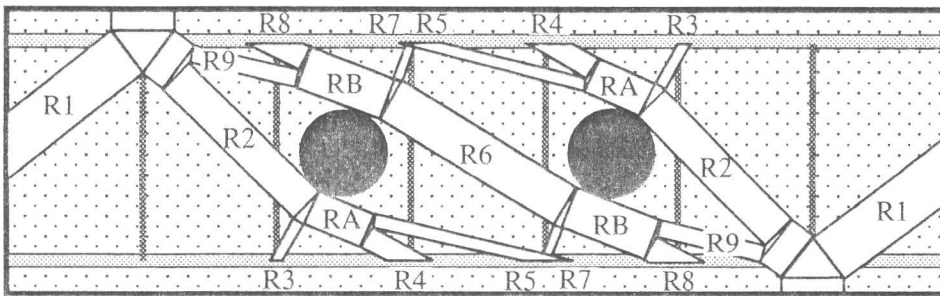


図14 H=130mm Yo=0mmのトラス詳細

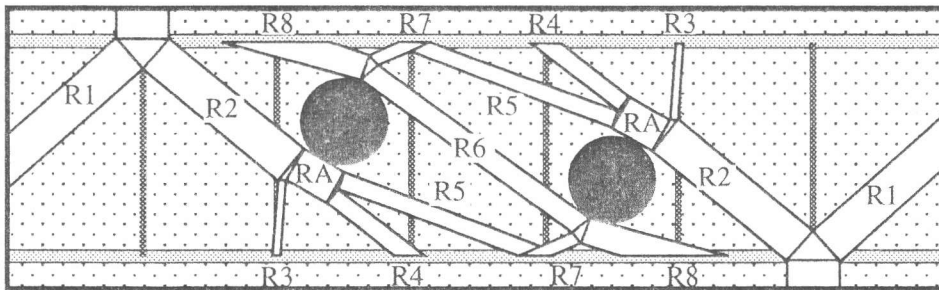


図15 H=130mm Yo=40mmのトラス詳細 (Yo/je=0.12)

正の場合は、図14と比較すると図15で孔の間を通るストラットR6が大きく制限を受ける。これにより孔径90mmの場合と異なりR9が消滅する。図16では、 $Y_o/je=0.06$ でP9の寄与分が消滅する。また、R8の傾きが水平に近づき、その鉛直成分P8(=P3)も減少する。その結果、図16では Y_o が負から正に移るとともにせん断強度が単調に減少する。

②せん断補強筋の応力： 図16の $Y_o/je \leq -0.06$ の領域でP4が低下し、孔の内側の補強筋が降伏しなくなる。反対に $Y_o/je \geq 0.06$ の領域ではP3(=P8)が低下し、孔の外側の補強筋が降伏しなくなる。

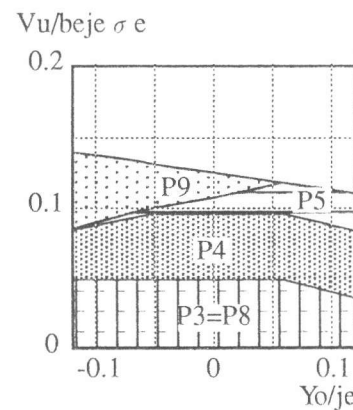


図16 H=130mmのずれ量とせん断強度の関係

7. ずれ量とせん断強度の関係

ずれ量とせん断強度の関係を図17にまとめて示す。ずれ量の

影響は大きい。例えば、孔径50mmでずれ量40mm($Y_o/je=0.125$)の場合と孔径90mmでずれ量-40mm($Y_o/je=-0.125$)の場合とでは、孔径の小さい前者の方がせん断強度は低い。孔径90mmと孔径130mmの場合でも同様である。

8. 孔径とせん断強度の関係

本解析で得られた孔径とせん断強度の関係を図18に太線で示す。孔が大きいほどせん断強度が下がるのは当然だが、その下がり方は、孔が中心にある場合($Y_o=0$)に最も急で、それ以外では緩やかになる。日本建築学会の指針[2]では、連続的なトラス理論に基づく孔1個の有孔梁のせん断強度式が示されている。指針の計算値を図18に一点鎖線で示す。また、あばら筋が十分多くて降伏しない場合の強度を点線で示す。一点鎖線はこの点線を下回っており、この範囲では、指針式でも補強筋が降伏することを示している。 $Y_o=-40$ mmおよび $Y_o=0$ の解が指針の計算値を上回っているのは、指針のモデルで無視しているアーチ作用がストラットR9として考慮されるためである。

9. 結論

- 1) 孔を加力点方向にずらすとき (つまり2つの孔が圧縮ストラットの方向に並ぶとき) は孔径にかかわらずせん断強度が低下する。これは、孔の間を通過する圧縮ストラットの幅が制限を受けるためである。
- 2) 孔を加力点と逆方向にずらすときは、孔径が大きい場合はせん断強度が上昇するが、孔径が小さい場合は低下する。孔径が大きい場合は、孔の間を通過する圧縮ストラット幅の増大の影響が大きく、孔径が小さい場合は、孔の外側を通過する圧縮ストラット幅の減少の影響が大きいためである。

参考文献

- [1] 日本建築学会：RC造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990.11
- [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，Vol.13，No.2，pp.303-308
- [3] 東 洋一，遠藤利根穂，岸本幸秀，清水 泰：斜めワイヤーメッシュで補強した鉄筋コンクリート有孔梁の多数回繰り返し水平加力実験（その4，5），日本建築学会大会学術講演梗概集，1984.10，pp.1703-1706
- [4] 市之瀬敏勝，杉浦光彦：トラスモデルによるRC有孔梁のせん断強度解析，コンクリート工学年次論文報告集，コンクリート工学協会，Vol.15，No.2，1993 pp.305-310

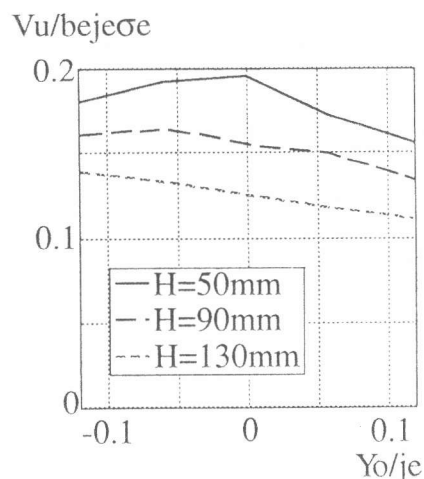


図17 ずれ量とせん断強度の関係

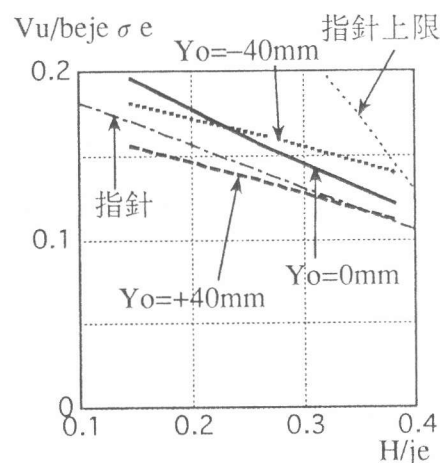


図18 孔径とせん断強度の関係