

せん断補強筋を有する RC 梁のせん断損傷メカニズムに関する解析的研究

九州工業大学工学部 学生会員 坂田秀生 九州工業大学 正会員 幸左賢二
 阪神高速道路公団 正会員 松本 茂 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 橋場 盛

1. はじめに

本研究では、せん断補強筋量をパラメータとし、載荷実験供試体を対象として二次元弾塑性有限要素法解析を行い、コンクリート負担せん断力の挙動および引張せん断破壊メカニズムの解明に着目した検討を実施した。

2. 解析手法

表-1に供試体諸元、図-1に供試体配筋図を示す。解析で適用した要素特性としては、コンクリートには平面応力要素で8節点アイソパラメトリック要素を用いた。また、鉄筋には埋め込み鉄筋要素を用い、鉄筋とコンクリートは完全付着とした。各材料の降伏基準および破壊基準としては、コンクリートの二軸圧縮状態における圧縮域には、等二軸圧縮強度を $1.16f_c$ (f_c : 一軸圧縮強度)として、内部摩擦角を $\phi=10^\circ$ 、粘着力 c を $0.42f_c$ と設定した Drucker-Prager の降伏基準を、引張域には最大主応力基準を用いた。また、鉄筋には Von-Mises の降伏基準を用いた。

コンクリートの応力度-ひずみモデルについて、圧縮上昇域では圧縮強度まで2次放物線とし、その後は応力が直線的に減少するモデルを採用した。引張域では引張強度 f_t に達するまでの範囲については、応力度-ひずみ関係を直線とした。ひび割れ発生後の引張軟化域は、 ε_t ($=\sigma_{sy}E_s \approx 2000\mu$) まで直線的に下降しており、ひび割れ発生後のせん断低減係数は5%^{1), 2)}と一定の値を採用した。また、鉄筋は降伏応力 σ_y に達した後に、降伏ひずみ ε_{sy} の8.5倍とする降伏棚を設けている。

3. 実験結果および解析結果

図-2に実験と解析の供試体損傷状況の比較を示す。まず、Case1

について説明すると、実験・解析ともに梁中段において斜めひび割れの発生が確認された。Case2の実験結果は、梁中間部に斜めひび割れ(①)が発生し、その後最初に発生した斜めひび割れより支点側に第二の斜めひび割れ(②)が発生した。解析結果は、斜めひび割れ①と近い箇所にひび割れが発生した。

本供試体において、せん断損傷はせん断損傷断面に作用する主引張応力³⁾により発生すると考えられる。そこで、せん断損傷断面に対して鉛直に働く主引張応力を算出し、式(1)によりコンクリートの負担せん断力を算出した。

$$V_c = f_1 \cdot b \cdot j \cdot d \cdot \cot \theta \quad (1)$$

ここに、 f_1 : 主引張応力、 b : 梁部の奥行き幅、 j : せん断損傷幅に対する係数、 d : せん断損傷幅、 θ : ひび割れの傾斜角

また、実験における V_c は、測定したせん断補強筋ひずみを利用したせん断補強筋の負担するせん断力 V_s を算出し、 $V_c = V - V_s$ により算出した。なおせん断損傷断面に対して、交差しているせん断補強筋の負担するせん断

表-1 供試体諸元

供試体	Pyo(kN)	Vc(kN)	Vs(kN)	Pyo/(Vc+Vs)
Case1	302	139	16	1.95
Case2			107	1.23
Case3			162	1.00

Pyo : 初降伏曲げ耐力

※ただし、Case3は解析のみ

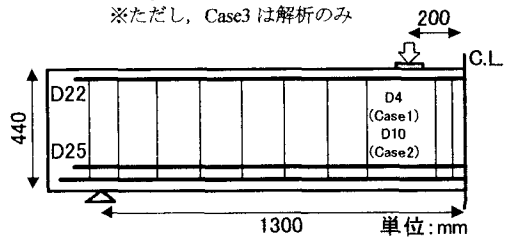
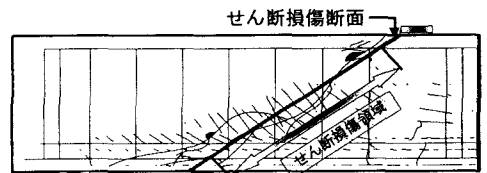
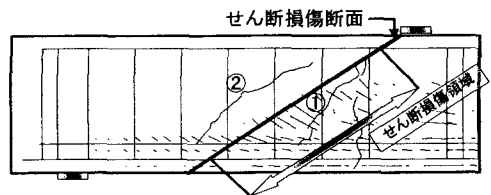


図-1 供試体配筋図



a) Case1 (鉛直変位 5.2mm 時)



b) Case2 (鉛直変位 5.2mm 時)

図-2 供試体損傷状況の比較

力 (V_s) は、せん断損傷断面と交わるせん断補強筋作用応力を求め、式 (2) により算出した。

$$V_s = f_v \cdot A_v / s \cdot j \cdot d \cdot \cot \theta \quad (2)$$

ここに、 f_v : せん断鉄筋作用応力、 A_v : せん断鉄筋面積、 s : せん断鉄筋の間隔

各供試体ごとの発生せん断力—鉛直変位関係を図-3に示す。実験・解析ともに鉛直変位の増加に伴って、コンクリート負担せん断力の勾配が一定となり、その後低下していることが確認できる。まずCase1について説明すると、初期勾配が若干異なっているものの、コンクリートの負担するせん断耐力はほぼ同等の値を得ていることが確認できる。また、コンクリート負担せん断力は、鉛直変位の増加に伴って低下していることが分かる。これは、せん断損傷断面におけるコンクリート要素が引張強度に達した後、引張力を負担できなくなるためであると考えられる。次にCase2について説明すると、Case1と同様にコンクリートの負担するせん断力が低下していることが確認できる。また、せん断耐力についても、Case1と同様にほぼ同等の値を示すことが明らかとなった。また、解析のみの比較に着目すると、全てのケースにおいて、鉛直変位2.0mm～4.0mmの範囲で勾配がほぼ一定となっており、鉛直変位4.0mm以降は全ケースにおいて、コンクリート負担せん断力の低下が確認できるが、その勾配が若干異なっていることが分かる。これは、せん断補強筋量を増加させたことによって、斜めひび割れ幅の進展に抑制力が生じるため、コンクリート負担せん断力の低下が緩やかとなることが考えられる。本解析により得られたコンクリートが負担するせん断耐力の算出結果を表-3に示す。算出結果より、せん断耐力について、Case1 (実/解) = 108%, Case2 (実/解) = 98%と比較的精度良く評価できていることが分かる。

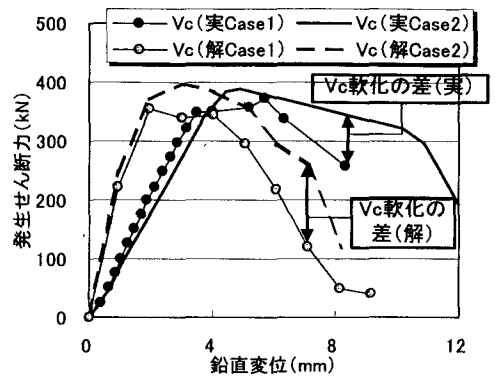
4. まとめ

せん断補強筋比を変化させたRC梁を用いて、載荷実験を行い実験結果と、二次元弾塑性有限要素法解析による解析結果との比較を行った結果、以下に示す知見が得られた。

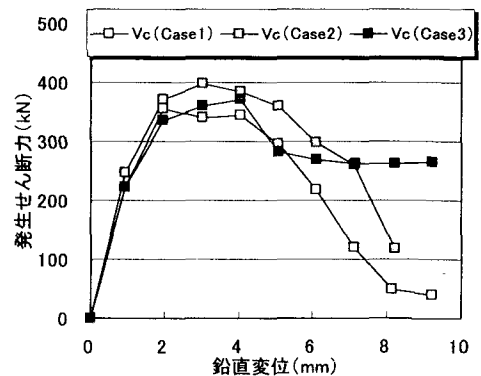
- ① せん断補強筋量を増加させることによって、コンクリートに発生する斜めひび割れ幅に対し抑制力が増加し、コンクリートの負担するせん断力の軟化挙動に影響を与えることが明らかとなった。
- ② せん断損傷断面を仮定し、主引張応力によりコンクリート負担せん断力を算出した結果、各ケースでそれぞれCase1 (実/解) = 108%, Case2 (実/解) = 98%と比較的精度良く評価できた。

参考文献：

- 1) 山谷敦, 中村光, 檜貝勇 : 回転ひび割れモデルによる RC 梁のせん断挙動解析, 土木学会論文集 No.620/V-43, pp.187-199, 1999.5
- 2) Jan G. Rots: Computational modeling of concrete fracture, Dissertation Delft Univ. of Technology, 1988.
- 3) Collins M. P. et al. : PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES, pp.338-359, Prentice-Hall, 1991.



a) 実験と解析の比較



b) 解析のみの比較

図-3 発生せん断力—鉛直変位関係

表-3 せん断耐力算出結果

	Case1	Case2	Case3
実験値			
Vc(kN)	372.7	388.7	-
解析値			
Vc(kN)	344	397.1	391.8
実験値/解析値			
Vc	1.08	0.98	-