

有限要素解析による I 型断面フレキシブル RC 橋脚の検討

九州大学工学部 学生会員 ○新谷 勇士
九州大学大学院 学生会員 高 文君

九州大学工学研究院 フェロー 大塚 久哲
西日本高速道路株式会社 正会員 今村 壮宏

1. はじめに

本研究は、既往のフレキシブル RC 橋脚の橋軸直角方向水平載荷実験の結果を用いて、2 次元及び 3 次元非線形有限要素解析を行い、荷重－変位曲線、鉄筋降伏順序の解析結果と実験結果とを比較検討し、解析モデル及び材料構成則の妥当性や実験事象の解明を行った。

2. 水平載荷実験の概要

表－1 と表－2 に材料特性、表－3 に本研究で用いた供試体の実験ケースを示す。コンクリートは設計基準強度 24N/mm^2 で配合しており、鉄筋は SD345 を用いた。本実験の供試体は既設のフレキシブル RC 橋脚の平均高さや断面形式を参考に約 1/10 の縮尺模型として製作したものである。各供試体の橋脚部の高さは 2000mm、横方向幅は 1000mm である。壁部分の内法高さは 1800mm、内法長さは 500mm、厚さは 60mm である。両側柱の断面寸法は $200 \times 250\text{mm}$ の矩形断面である。載荷に関しては、基礎フーチングを PC 鋼棒で緊結し、500kN のオイルジャッキで供試体梁部に水平単調漸増載荷を行った。

3. 解析モデル概要

解析には FEM 解析ソフト FINAL¹⁾ を用いた。コンクリートと鉄筋のモデル化により 2 次元及び 3 次元の解析モデル（図－1 参照）を 4 ケース考えた。以下に各ケースの番号とモデル化について述べる。

ケース 2－1：コンクリートは四辺形要素に置換し、鉄筋は全て要素内埋め込み鉄筋として扱った 2 次元解析モデルである。

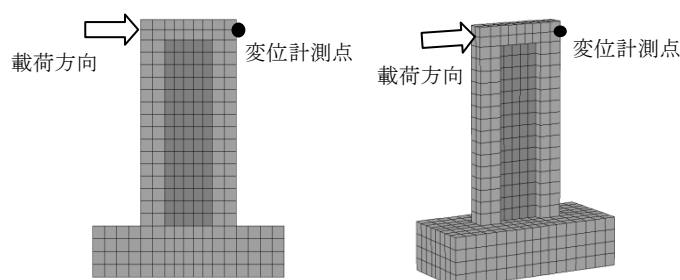
ケース 2－2：コンクリートは四辺形要素に置換し、壁の横方向鉄筋及び帯鉄筋は要素内埋め込み鉄筋として扱い、柱と梁の主鉄筋及び壁の縦方向鉄筋はトラス要素に置換し、付着すべりを考慮した 2 次元解析モデルである。

これに対して、ケース 3－1、3－2 は、コンクリートは六面体要素に置換し、鉄筋を 2 次元解析モデルと同様に考えた 3 次元解析モデルである。

要素内埋め込み鉄筋とは、鉄筋配置面内に鉄筋が一

様に分布していると仮定して、層状に剛性を考慮し、コンクリートの平面応力要素に重ね合わせたモデルである。

コンクリートと鉄筋の材料構成則を以下に示す。テンションスティフニング特性：出雲らのモデル ($c=0.8$)、コンクリートの圧縮応力とひずみの関係及び圧縮軟化特性：修正 Ahmad モデル、コンクリートのひび割れ後のせん断伝達特性：Al-Mahaidi モデル、コンクリートと鉄筋の付着応力－すべり量関係：Elmorsi らのモデル。各供試体の配筋状況とコンクリートの圧縮強度により、モデル係数が異なる。



図－1 解析モデル（左：2次元、右：3次元）

表－1 鉄筋の材料特性 表－2 コンクリートの材料特性

鉄筋径	降伏応力 (N/mm^2)	降伏ひずみ (μ)	ヤング係数 $\times 10^4 (\text{N/mm}^2)$	供試体No.	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 $\times 10^4 (\text{N/mm}^2)$
D 6	409	2045	2.00×105	1	34.4	3	2.49
D 10	363	1994	1.82×105	2	36.7	3.3	2.59
D 13	345	2193	1.79×105	3	31.5	3	2.32
D 16	385	2152	1.84×105	4	35.7	3.1	2.35
				5	30.3	3	2.27

表－3 供試体実験ケース

供試体No.	鉄筋径及び配筋間隔(鉄筋比%)				備考
	柱主鉄筋	柱帯鉄筋	壁縦方向鉄筋	壁横方向鉄筋	
1	6-D16 (2.67)	2-D10 (0.26)	D6ctc120 (0.26)	5-D10 (1.19) D13ctc120 (1.76)	標準断面
2	6-D16 (2.67)	2-D10 (0.26)	D6ctc60 (0.26)	5-D10 (1.19) D13ctc120 (1.76)	柱帯鉄筋を2倍
3	6-D16 (2.67)	2-D10 (0.26)	D6ctc40 (0.26)	5-D10 (1.19) D13ctc120 (1.76)	柱帯鉄筋を3倍
4	6-D16 (2.67)	2-D10 (0.26)	D6ctc120 (0.26)	5-D10 (1.19) D13ctc60 (3.52)	壁横鉄筋を2倍
5	6-D16 (2.67)	2-D10 (0.26)	D6ctc120 (0.26)	5-D10 (1.19) D10ctc120 (0.99)	壁横鉄筋を約1/2 倍

4. 解析結果と実験値との比較

4. 1 荷重－変位曲線

各供試体について FEM 解析により得られた荷重－変位曲線と実験値とを比較した結果を図－2 に示す。

標準断面である供試体 No.1²⁾に対しては、鉄筋を全て要素内で埋め込み鉄筋として扱った 2 次元解析のケース 2－1 の結果は実験曲線の第 2 折点近傍を除いて精度よく表現している。特に最大耐力をほぼ適切に評価しており、終局変位も安全側に評価している。主鉄筋

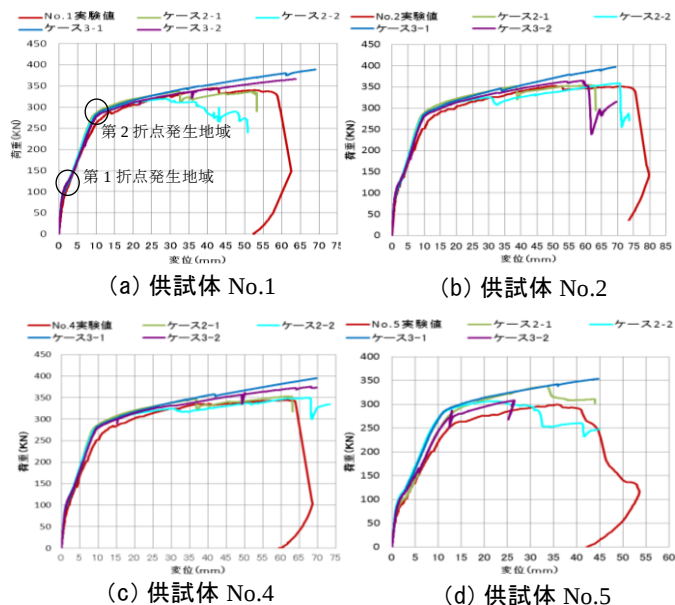


図-2 荷重—変位曲線の比較

をトラス要素に置換した二次元解析のケース 2-2 の結果は第2折点前後までケース 2-1 の結果と一致しているが、主鉄筋降伏後の結果が不安定となり、実験値と大きな差異を生じた。一方、3次元解析では、主鉄筋をトラス要素に置換したケース 3-2 が全体鉄筋を要素内埋め込み鉄筋として扱ったケース 3-1 より、若干精度がよいが、いずれの解析ケースも最大耐力と終局変位の評価に課題が残っている。

柱の帯鉄筋を2倍に増やした供試体 No.2 に対しては、2次元解析の各ケースは精度よくかつ安全側に評価しているが、ケース 2-2 は終局変位の評価が若干不安定となっている。一方、3次元解析の結果は供試体 No.1 と同様に、ケース 3-2 がケース 3-1 より若干精度がよく、終局変位も安全側に評価している。

柱の帯鉄筋を3倍に増やした供試体 No.3 に対してはどのケースとも耐力を過大に評価している。供試体 No.3 のコンクリート強度は他の供試体より 10%ほど低く、これが実験の耐力低下に現われていると考えられるが、解析値はこれを反映できていないことが一因と考えられる。図は省略している。

壁の横方向鉄筋を2倍に増やした供試体 No.4 に対しては、供試体 No.1 に対する考察とほぼ同様である。ただし、2次元解析のケース 2-2 の精度が向上していることが No.1 と異なっている。

壁の横方向鉄筋を 1/2 倍に減らした供試体 No.5 に対しては、2次元及び3次元の各解析ケースともに耐力の評価が過大となっている。No.5 もコンクリート強度が低く、解析値に適切に反映されていないと思われる。

しかし、図-2の(d)から2次元のケース 2-1 と3次元のケース 3-2 が実験結果と若干一致していることがわかる。

4. 2 鉄筋降伏順序

荷重—変位曲線と実験値との比較により、2次元解析のケース 2-1 が相対的に実験値をよく表現できたといえる。従って、実験の発生事象を厳密に把握するため、同解析ケースにおける鉄筋降伏状態を検討した。図-3に FEM 解析のケース 2-1 から得られた供試体 No.1 の鉄筋降伏順序を示す。ここで対象としている鉄筋は、

- (1) 引張側柱の主鉄筋 (荷重 236.8kN, 変位 7.1mm)
- (2) 壁の縦方向鉄筋 (荷重 281.7kN, 変位 9.4mm)
- (3) 圧縮側柱の帯鉄筋 (荷重 328.5kN, 変位 25.9mm)

である。実験値²⁾は

- (1) 引張側柱の主鉄筋 (荷重 112kN, 変位 2.5mm)
- (2) 壁の縦方向鉄筋 (荷重 133kN, 変位 3.4mm)
- (3) 圧縮側柱の帯鉄筋 (荷重 317kN, 変位 24.6mm)

であり、降伏順序は一致しているが、主鉄筋の降伏荷重は過大に評価する傾向にある。

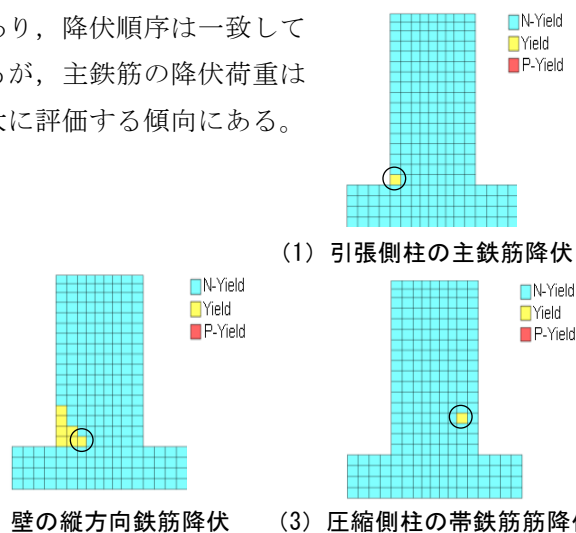


図-3 解析ケース 2-1 により得られた
供試体 No. 1 の鉄筋降伏

5. まとめ

鉄筋を全て要素内埋め込み鉄筋として扱った2次元解析モデル(ケース 2-1)が、実験結果をよく評価することがわかった。ただし、コンクリート強度を反映した実験結果を十分に再現できなかった。鉄筋の降伏順序は実験と一致しているが、主鉄筋の降伏荷重は過大に評価する傾向にある。

参考文献

- 1) 伊藤忠テクノソリューションズ(株): FINAL/V11
- 2) 高・大塚・福永・川崎: I型断面フレキシブルRC橋脚の水平耐力に及ぼす横方向鉄筋の効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, 2011.7