

大阪市立大学工学部 学生員 ○内田 優美
 大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 野崎 佑太
 (株) 日建建設シビル 正会員 川満 逸雄
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 鬼頭 宏明, 角掛 久雄

1. はじめに

要求性能が多様で形状が複雑な RC 構造物には有限要素法 (以下, FEM) による解析の必要性が高まっている. FEM による材料非線形解析は構造物の挙動を材料構成則ベースで忠実に再現できる手法であるといえる. しかし, 材料非線形解析にも多数種類があり, また, 要素の種類, 要素分割, 材料物性の導入方法および入力増分量など, 多岐の項目に関して使用者間で差が生じる. そのため解析結果は汎用有限要素コード (以下, 汎用コード) やその使用者によって異なることもあり, 特にせん断破壊型の挙動に対する解析結果はばらつきが大きくなっているのが現状である.

本研究では, せん断破壊型の RC 梁部材を対象に汎用コードを設計の手段として実務で使用するための基礎資料を提供することを目的に, 材料非線形解析手法におけるモデルの要素分割, 変位増分の大きさをパラメータに, 様々な RC 梁について解析を行い解析結果に及ぼす影響を検討する.

2. 解析条件

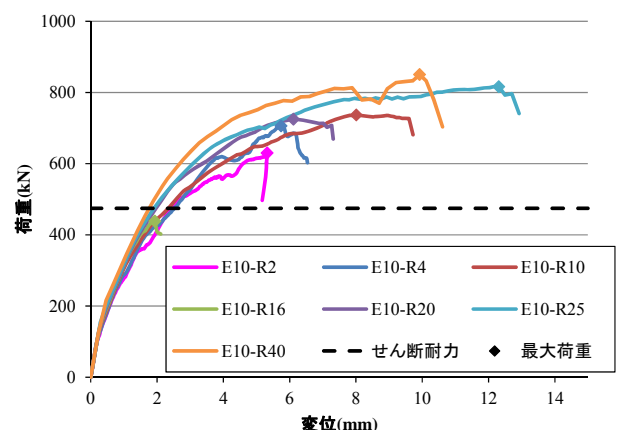
本研究においては使用する汎用コード自体もパラメータになり得るが, ここではコンクリート構造物非線形 FEM 解析プログラムである FINAL^[1]を用いることとした. 解析では基礎資料を得ることを目的としているため, 鉄筋の付着特性は考慮せず, かつコンクリートの構成則はデフォルトの条件を適用し, 鉄筋は完全弾塑性としている. なお, 解析では平面応力場を仮定している.

3. 解析結果

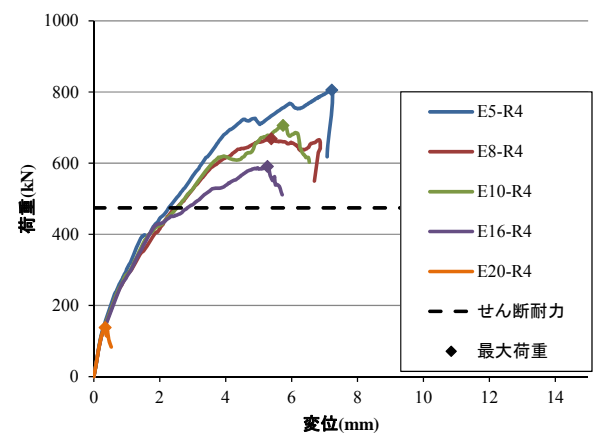
解析対象は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」^[2]で示される集中荷重 (4 点对称載荷) を受けるせん断破壊型の RC

部材 (表-1 参照) の 11 モデルとした. このモデルは No.1 の基本モデルに対して表に示す着目点ごとに条件を変化させた RC 梁である. ここでは基本モデルとなる No.1 に対して要素分割, 変位増分を様々に組み合わせて全 35 パターンの予備解析を行った. 凡例について E の後の数字が高さ方向の要素分割数, R の後の数字が変位増分量であるせん断スパンの部材回転角 ($\times 10^{-5}$) を表す.

図-1 に変位増分のみ, および要素分割のみを変化させた場合の P- δ 曲線を例示する. 図より 200kN 程度までの初期剛性は類似しているが徐々にばらつ



(a) 有効高を 10 分割して変位増分を変化させた場合



(b) 回転角 4×10^{-5} として要素分割を変化させた場合

図-1 荷重-変位関係例

表-1 解析対象

モデル No.	スパン a[mm]	部材幅 [mm]	部材厚 [mm]	有効部材厚 d[mm]	コンクリート圧縮強度 [N/mm ²]	主鉄筋降伏強度 [N/mm ²]	引張鉄筋比	軸力比	せん断補筋比	せん断補筋降伏強度 [N/mm ²]	せん断耐力 [kN]	着目点
1	500	1000	300	250	24.0	350	0.030	0	0	0	475	基本ケース
2	250	1000	300	250	24.0	350	0.030	0	0	0	1187	a/dの効果:1/2倍
3	1000	1000	300	250	24.0	350	0.030	0	0	0	324	a/dの効果:2倍
4	1500	1000	300	250	24.0	350	0.030	0	0	0	294	a/dの効果:3倍
5	500	1000	300	250	36.0	350	0.030	0	0	0	581	コンクリート圧縮強度:強
6-1	500	1000	300	250	24.0	350	0.010	0	0	0	329	引張鉄筋比:少
6-2	500	1000	300	250	24.0	350	0.050	0	0	0	494	引張鉄筋比:多
7	2500	1000	1500	1250	24.0	350	0.030	0	0	0	1587	寸法効果
8	1000	1000	300	250	24.0	350	0.030	0.1	0	0	350	軸力の効果
9-1	500	1000	300	250	24.0	350	0.030	0	0.005	350	855	せん断補筋の効果:間隔小
9-2	500	1000	300	250	24.0	350	0.030	0	0.005	350	855	せん断補筋の効果:間隔大

表-2 耐力比まとめ

モデル No.	変位増分			
	分割数	2	4	10
1	5	1.367	1.695	1.741
	10	1.326	1.485	1.550
2	5	1.565	1.488	1.609
	10	1.547	不適合	1.061
3	5	1.123	1.074	1.162
	10	0.971	0.882	0.914
4	5	0.860	1.002	1.039
	10	0.715	0.767	0.861
5	5	1.852	不適合	1.698
	10	1.138	1.363	1.661
6-1	5	曲げ破壊		
	10			
6-2	5	1.672	1.690	1.823
	10	1.207	1.314	1.430
7	5	破壊形式不適合		
	10	1.183	1.426	1.641
8	5	1.201	1.018	1.241
	10	0.855	0.991	0.979
9-1	5	1.175	1.201	1.202
	10	1.090	不適合	1.145
9-2	5	1.182	1.136	1.133
	10	0.936	0.914	0.956

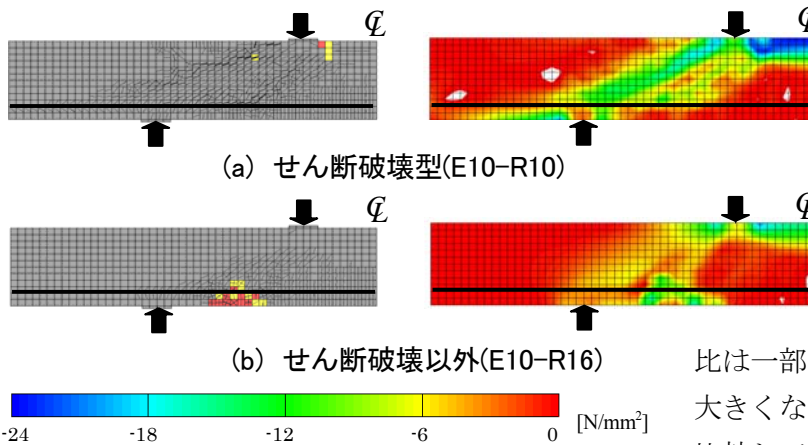


図-2 最大荷重時のひび割れ図, 最小主応力図

きが発生している。一部のパターンを除き最大荷重は約 600~800kN とばらついた結果となった。最大荷重時の変位は変位増分の影響が大きく E10-R2 と E10-R25 では 2.3 倍もの違いになっている。

次に破壊形式の違いを見るため、図-2 には E10-R10 と E10-R16 の最大荷重時のひび割れと最小主応力図を示す。E10-R10 は、斜めひび割れ等、載荷点と支点に圧縮ストラットが形成、載荷点付近の圧縮軟化（ひび割れ図黄・赤部）というせん断破壊の特徴が確認できる。一方 E10-R16 は、最大荷重そのものはせん断耐力と比較的近いが、引張側のコンクリートが圧縮軟化し、圧縮ストラットの形成もなく、せん断破壊に至っていない。この様に、解析条件の違いが結果へ影響することが明らかになった。

表-2 に解析対象である 11 ケースの解析結果を示す。ここで予備解析にて、比較的安定して結果を得られた変位増分 2,4,10(×10⁻⁵)および要素分割 5,10 分割を用いた。耐力比とは解析で得られた最大荷重/せん断耐力(表-1 参照)の比を示す。なお、せん断破壊と判断できないケースは除外している。耐力

比は一部異なるが要素分割、変位増分ともに粗いと大きくなる傾向が見られる。基本のモデル No.1 と比較して、a/d が大きいモデル No.3,4 とせん断補筋を有するモデル No.9 で耐力比が小さな値となっており、このような条件が解析結果のばらつきを抑える傾向にあることが分かった。またこれらのモデルの耐力比の最大値と最小値の差が小さく、解析結果のばらつきが小さいといえる。また a/d の小さなモデル No.2, コンクリート圧縮強度を上げたモデル No.5, 寸法の大きなモデル No.7 において耐力比の最大値と最小値の差が大きく、これらの条件のもとでは耐力比がばらつくといえる。

4. まとめ

全 11 モデルのせん断破壊型 RC 梁を対象に要素分割、変位増分をパラメータに解析を行い、モデルによって要素分割、変位増分の条件が解析結果に与える影響が大きいことを提示した。ただし、集中荷重を受ける RC 梁に対してのみの傾向であるため、適切なモデルの提案のために、分布荷重, RC 柱等, 他の条件についても検討する必要がある。

参考文献:[1]大林組技術研究所 構造技術研究部: FINAL 使用手引書, 2011.4 [2]土木学会原子力土木委員会: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, 2005.6