

大阪市立大学工学部 学生員 ○北川 晴之
(株) 日建設シビル 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

東日本大震災以降、既設コンクリート構造物の耐震診断が増えている。その手法の一つとして有限要素法による材料非線形解析がある。しかし、材料非線形解析を行う汎用有限要素コード(以下、汎用コード)は多数あり、適用できる構成則が異なる。また要素の種類、要素分割、材料物性の導入方法、増分量(変位、荷重)など、多岐の項目で使用者間において差が生じる。特にせん断破壊型に対する解析結果でバラつきが大きい。

ここでは、集中荷重作用時の研究¹⁾を踏まえ、分布荷重作用時のせん断破壊型 RC 梁部材を対象に材料非線形解析を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、モデルの要素分割や荷重増分量をパラメータに解析を行い、解析結果に及ぼすその影響に考察を加える。この検討を行うことで、汎用コードの特徴を把握し、使用するコードの適用性および要素分割方針をはじめとする解析条件の妥当性を確認し、様々な条件における適切な解析手法すなわち、要素分割と荷重増分量を提案するものである。

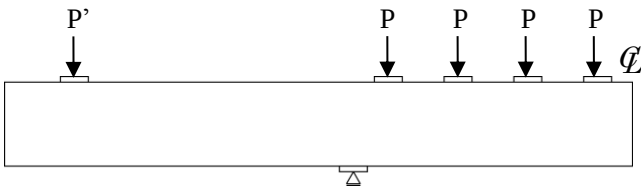


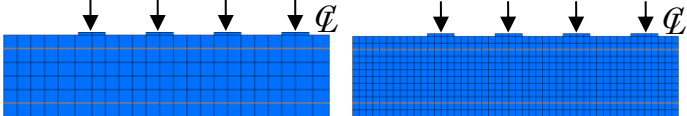
図-1 モデル例

2. 解析概要

解析対象は「原子力発電所重要土木構造物の耐震照査性能・マニュアル²⁾」にある分布荷重作用時のせん断破壊型 RC 梁部材の 8 ケース(No. I ~Ⅷ)であり、表-1 に条件、図-1 にモデル例を示す。軸力の有無によって No. I ~Ⅴと No.Ⅵ~Ⅷの 2 タイプに分けられている。文献²⁾より、実験結果として示されたせん断耐力、ひび割れ図と解析結果の比較検証を行う。

汎用コードは、コンクリート構造物非線形 FEM 解析プログラム FINAL³⁾である。構成則は、コンクリート、鉄筋ともにデフォルトの条件を適用している。コンクリートは四辺形要素、鉄筋は線材要素を用い、鉄筋とコンクリートの付着は剛としている。

まず、予備解析として既往研究¹⁾を基に、No. I の基本ケースに対して、要素分割(図-2)・増分割合(1STEP 当たりの荷重/算定せん断耐力)を変化させて行った。その結果 8 ケースの本解析を行う為の共通の解析パラメータは、要素分割 5、10 と増分割合 2、3、5、7×10⁻³とする。このパラメータに対して各々のケースの解析結果より、耐力や破壊性状の検証を行う。



要素分割 5 要素分割 10

表-1 解析条件

図-2 要素分割モデル例

Case	スパン (m)	部材幅 (m)	部材厚 (m)	有効部 材厚 (m)	コン クリ ート 圧 縮 強 度 (N/mm ²)	主筋降 伏強 度 (N/mm ²)	引張鉄 筋比	軸力比	せん 断 補 強 筋 比	せん 断 補 強 筋 降 伏 強 度	P' / P	せん断 耐力(支 点位 置)(kN)	着目点
No. I	1.00	0.15	0.30	0.25	32.30	363	0.041	0	0	0	0	165	No. I ~Ⅴの基本ケース 分布荷重を受けるスパンの効果 モーメント分布の効果
No.Ⅱ	0.50	0.15	0.30	0.25	41.40	363	0.041	0	0	0	0	333	
No.Ⅲ	1.50	0.15	0.30	0.25	41.70	363	0.041	0	0	0	0	127	
No.Ⅳ	1.00	0.15	0.30	0.25	33.60	363	0.041	0	0	0	1.5	188	
No.Ⅴ	1.00	0.15	0.30	0.25	36.20	363	0.041	0	0	0	2	163	
No.Ⅵ	1.00	0.16	0.30	0.26	33.70	511	0.035	0.1	0	0	1.5	273	No.Ⅵ~Ⅷの基本ケース せん断補強筋の効果 ハンチの効果
No.Ⅶ	1.00	0.16	0.30	0.26	35.00	511	0.035	0.1	0.038	332	1.5	356	
No.Ⅷ	1.00	0.16	0.30	0.26	34.40	511	0.035	0.1	0	0	1.5	432	

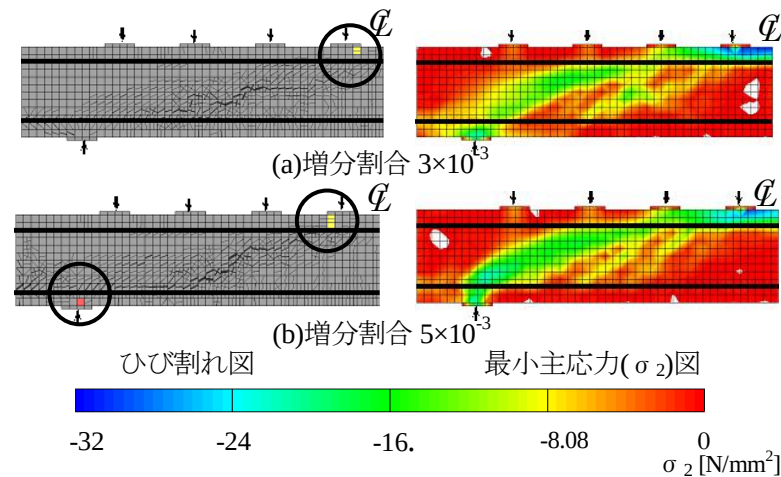


図-3 破壊荷重時のひび割れ図と最小主応力図

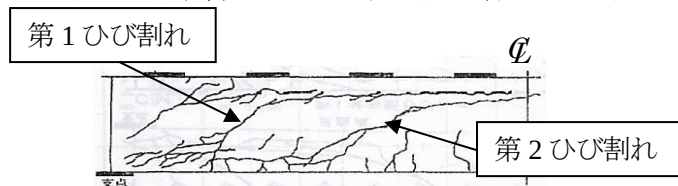


図-4 実験での終局時の破壊性状

3. 解析結果

前述の解析パラメータで $64(8 \times 2 \times 4)$ パターンの解析を行った。妥当性の判断は、破壊形式として破壊荷重時のひび割れ図、最小主応力図、さらに破壊荷重を実験結果と比較することで決定する。

例として No. I の要素分割 10、増分割合 3.5×10^{-3} の結果を図-3 に示す。まず最小主応力では、両増分割合とも載荷点から支点までの応力流れである圧縮ストラットが形成されており、せん断破壊型といえる。しかし図の(a)では、曲げの影響を強く受けて、図右側のスパン中央部の曲げ圧縮が大きくなり、さらに支点付近の応力が乱れている。ひび割れ図では、両増分割合共に載荷板付近の○の位置に圧縮軟化(黄色部)が見られているが、曲げの影響の強い図の(a)は、中央側が軟化している。また図の(b)では、最大の鉛直力を受ける支点付近の○の位置に圧縮軟化が生じている。図-4 に実験の破壊性状を示す。特徴としては、まず第1 ひび割れが入り、その後第2 ひび割れが発達し、破壊に至っている。図-4 より共に第1,2 ひび割れ相当のひびが生じており、第2 ひび割れ位置付近の方が大きくなり、第2 ひび割れで破壊に至っている。最後に破壊荷重である。実験でのせん断耐力は 165kN であり、増分割合 3×10^{-3} の時は 113.6kN、 5×10^{-3} の時は 136.2kN である。曲げの影響が大きくなっている増分割合 3×10^{-3} は、破壊荷重が小さい。以上の結果、No. I においては、要素

表-2 耐力比(破壊荷重/せん断耐力)

	軸力	増分割合 要素分割	2	3	5	7
		$\times 10^{-3}$				
No. I	無	5	1.04	1.01		
		10	0.84	0.69	0.83	0.84
No. II		5	1.30	1.22	1.24	1.31
		10			0.85	0.88
No. III		5	1.18		1.17	1.15
		10		0.92	1.06	1.03
No. IV		5	1.14	1.24		
		10	0.75	0.83		0.88
No. V		5	1.05	1.09	1.64	
		10	0.88	0.96	0.94	0.98
No. VI	有	5	0.75	0.78	0.79	0.92
		10	0.76	0.74	0.78	0.84
No. VII		5	1.13	1.10	1.11	1.11
		10	0.68	0.80	0.81	0.81
No. VIII		5	1.17	1.18	1.19	1.20
		10	0.68	0.77	0.73	0.79

分割 10、増分割合 5×10^{-3} の方が適切と考えられる。

破壊荷重の全解析結果に対する耐力比を表-2 に示す。表では、不適切な破壊形式は灰色にしている。耐力が比較的異なっているケースでは、前述の No. I の要素分割 10、増分割合 3×10^{-3} のように、曲げの影響により耐力が低下したもの。また No. VI~VIII の要素分割 10 は、第2 ひび割れまで進展せず、第1 ひび割れで破壊に至っているため、耐力が低下している等の現象が見られる。結果として破壊荷重がせん断耐力より $\pm 20\%$ 程度以上だと、上述のような傾向にあり、妥当な評価が出来ない場合が多い。そして表-2 で耐力比が $\pm 20\%$ 以下で実験との整合性があるものを斜体とした。また耐力比において増分割合の変化による明確な傾向はなかったが、要素分割が荒くなると、せん断圧縮による影響のため、大きくなる傾向がある。軸力の無い No. I ~ V では要素分割 10 で耐力比が比較的 1 に近く、適切な破壊形式になっているものが多い。軸力のある No. VI~VIII では、前述するように要素分割 5 で耐力比が 1 に近く、適切な破壊形式になっているものが多い。

4. まとめ

全 8 ケースについて解析を行った結果、軸力の有無によって妥当な解析パラメータが分けられる。

具体的には、分布荷重作用時のせん断破壊型となる解析パラメータは、増分割合 5.7×10^{-3} で、軸力の無い場合は要素分割 10、軸力の有る場合は要素分割 5 とすることが好ましい。

参考文献: 1) 内田ら: せん断破壊型 RC 梁の非線形有限要素解析による解析条件の影響、平成 24 年度土木学会関西支部年次学術講演会、V-8、2012、2) 土木学会原子力土木委員会: 原子力発電所屋重要土木構造物の耐震照査性能・マニュアル、2005.6、3) 大林組技術研究所 構造技術研究部: FINAL 使用手引書