

コンクリートの圧縮破壊挙動に着目した RC 部材の変形指標と限界値に関する検討

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○小松 怜史 松尾 豊史

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)製地中構造物の耐震性能照査に用いる合理的・実用的な評価指標が求められている¹⁾。既往のひずみ指標は、せん断耐力式²⁾と比べても安全な評価となり、局所的な損傷や解析の要素寸法・形状の影響を受けやすい等の課題があった。そこで本論文では、要素寸法依存性が小さくコンクリートの圧縮損傷と耐震性能を結びつけることが可能な変形指標を提案することを目指して解析的検討を行った。

2. コンクリートの圧縮破壊に着目した RC 構造物の耐震性能限界値コンセプト

一軸圧縮応力下のコンクリートの圧縮損傷は局所的に(塑性域は200mm程度以下で)生じることが知られている(図-1)³⁾を参考に作図。一方で、コンクリートの圧縮損傷指標としての主圧縮ひずみの限界値(1%)は参照長さに応じて定められている(図-2)。以上の点を踏まえ、現行の設計よりも安全側となるように(図-3)、圧縮破壊による限界値指標を「材端から200mm以上離れた節点間の相対変位が2mm(200mm×1%)に達する時点」と定義した(図-4, 以後「圧縮縁変位」)。主圧縮ひずみは応力状態によって時々刻々変化し要素寸法にも影響を受けやすい。一方で、圧縮縁変位は変位指標であることから要素寸法依存性が小さいと考えている。

3. 一軸圧縮応力下のコンクリートへの適用

3. 1 解析概要

2.で提案した圧縮縁変位の基本的な特性を把握することを目的に、一軸圧縮応力下のコンクリートの破壊実験³⁾に対して適用した。検討にはCOM3⁴⁾を用いた。解析条件等を表-1に示す。軟化挙動は要素寸法と破壊エネルギーから求まる軟化勾配を設定した。解析モデルの検証は底面10cm×10cmの試験体で行い、底面20cm×20cmの試験体にモデルを拡張した。要素寸法は2cmと5cmの2パターンの解析モデルを用意した。一軸圧縮応力下では、塑性域に至る要素が分からないため、圧縮縁変位の算定には試験体全長(高さH)を用いた。

3. 2 解析結果

解析結果の一覧を図-5に示す。コンクリート断面積(A_c)およびコンクリートの高さ(H)が大きくなると耐荷力保持率は大きくなった。耐荷力を受け持つ面積が増えたこと、弾性変形が含まれていることが理由と考えられる。一方、要素寸法が大きくなると耐荷力の低下が大きくなる傾向にあることが確認された。

4. 面内で圧縮力を受ける RC 面部材への適用

4. 1 解析概要

部材や実構造物の耐震性能照査では①要素数が比較的多くなる②一軸圧縮応力下ではないなどの理由から、3.で示すような一軸応力下の試験体のような耐荷挙動にはならないと考えられる。そこで、コンクリートの圧縮破壊が支配的なRC面部材実験⁵⁾を対象に圧縮縁変位の適用性を検証した。解析条件等を表-2に示す。使用解析ソフトや構成則は3.と同様である。要素寸法は4cmと10cmの2パターンの解析モデルを用意した。圧縮縁変位の算定には、変形図やコンター図を参考に、最も変形の大きかった箇所を選定した。

4. 2 解析結果

最大耐荷力および水平変位(@最大耐荷力時)で再現性を確認した解析モデルの荷重-変位関係を図-6に示す。限界値に達した地点も記載している。また最小主ひずみのコンター図(せん断・曲げ)を図-7に示す。破壊モード、要素寸法によらず最大耐力7割以上の耐荷力を保持した状態で限界状態に達することを確認した。

5. おわりに

RC面部材への提案指標の適用性検証や特性把握を行うことができた。今後は、適用範囲の確認、地震動で考える必要がある水平二方向力下での適用性検証などを行っていく予定である。

キーワード 圧縮破壊, 耐震性能照査, 限界値, 三次元材料非線形有限要素法

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 080-3024-6853 E-mail komatsu3762@criepi.denken.or.jp

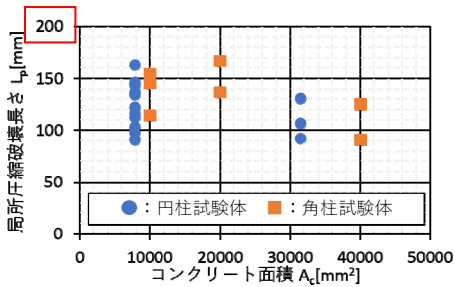


図-1 一軸圧縮応力下のコンクリートの破壊挙動 3)を参考に作図

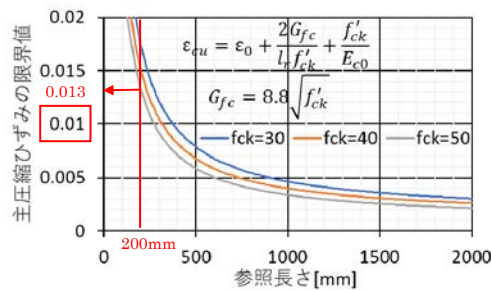


図-2 主圧縮ひずみの限界値

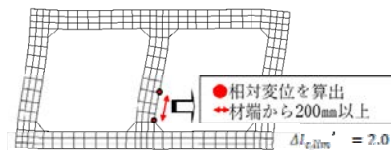


図-4 圧縮縁変位の取得例

要素寸法 [mm]	主圧縮ひずみの方向[度]	参照長さ [mm]	主圧縮ひずみの限界値	変位 [mm]	圧縮縁変位 [mm]
200×40	90 (鉛直)	200	0.017	3.5	3.5
	60	80	0.042	3.3	2.9
	45	56.6	0.058	3.3	2.3

図-3 主圧縮ひずみと圧縮縁変位の関係性の一例

表-1 解析条件 (一軸圧縮応力実験)

試験体サイズ[mm]	高さ[mm]	H/D	σ_{max} [N/mm²]	f_c [N/mm²]	σ_{max}/f_c [%]
200×200	800	4	30.1	47.5	63.3
	400	2	29.7	43.5	68.3
	200	1	23.7	39.6	59.8
100×100	400	4	30.5	46.7	65.4
	200	2	39.4	50.4	58.2

表-2 解析条件 (RC 面部材)

試験体破壊モード	壁厚 [cm]	側柱鉄筋比[%]	側柱主鉄筋降伏強度 [kgf/cm²]	壁補強筋比 [%]	コンクリート圧縮強度 [kgf/cm²]	最大耐力 [kgf/cm²]
曲げ	3.32	2.31	3606	0.95	293.2	19.46
せん断	3.36	1.37	3614	0.93	335.9	27.55

共通:
 ・柱寸法15cm×15cm
 ・壁寸法: 80cm×100cm
 ・壁筋降伏強度: 3587kgf/cm²
 ・側柱帯筋比: 0.93%
 ・帯筋降伏強度: 3050kgf/cm²

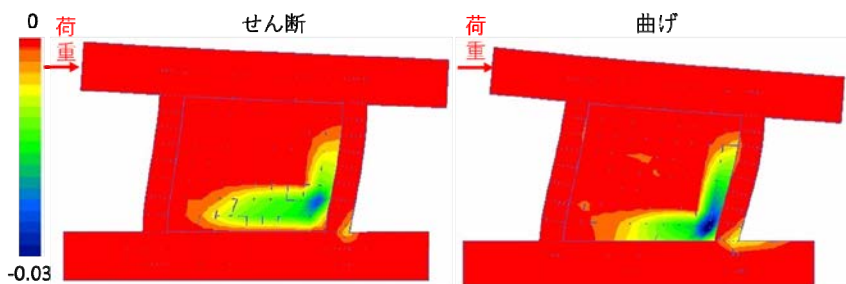
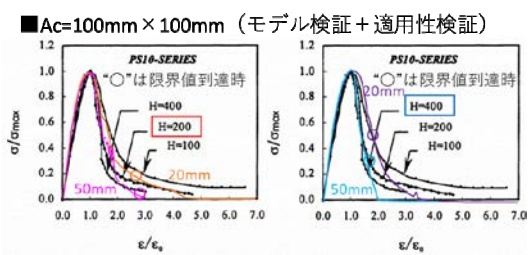


図-7 最小主ひずみコンター図 (変形 10 倍) ※10 cmメッシュ



面積Ac [mm]	200×200					
高さH [mm]	200		400		800	
要素寸法 [mm]	20	50	20	50	20	50
耐力保持率	0.2	0.1	0.9	0.3	>1*	>1*

*最大耐力前に限界値に達する

図-5 解析結果 (一軸圧縮応力実験)

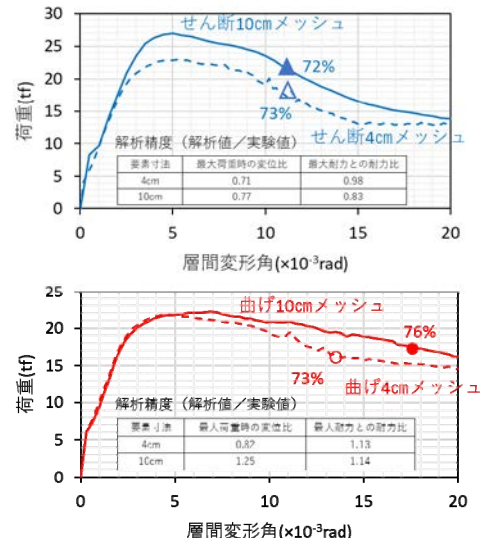


図-6 解析結果 (RC 面部材)

謝辞

解析の実施に関して横浜国立大学の前川教授, 限界値の設定に関して名古屋大学の中村光教授との議論がそれぞれ参考になりました。深謝致します。

参考文献

- 1) 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・照査例 2018
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編] 2017
- 3) Torsak LERTSRISKAKULRAT, Ken WATANABE, Maki MATSUO and Junichiro NIWA: Experimental study on parameters in localization of concrete subjected to compression, J. Materials, Conc. Struct., Pavements, JSCE, No. 669/V-50, pp.309-321, 2001.2
- 4) K.Maekawa et al.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, CRC Press
- 5) 望月洵, 小野里憲一: 連想耐震壁の破壊モードの判定式, コンクリート工学年次論文集, Vol. 13-2, pp. 559-564, 1991