

アンカー削孔欠損を考慮した R/B外壁部の評価について

2022年2月17日（第10回）

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

■ モデル化の基本方針

● 基本方針

アンカー削孔に伴う外壁の耐力低下を確認するための応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析により実施する。

解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、「検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)」に示す。

応力解析モデルは、福島第一原子力発電所1号機の外壁を想定したモデルである。

● 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、積層シェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は鉄筋層をモデル化した異方性材料による積層シェル要素である。

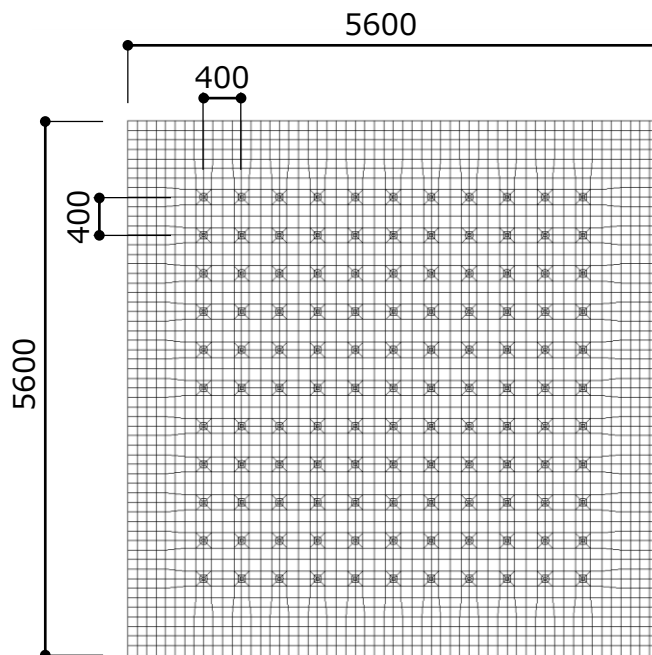
各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

解析モデルの節点数は5185、要素数は5072である。

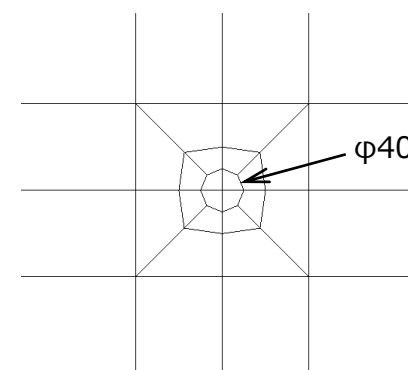
■ モデル化の基本方針

● モデル概要

外壁は、アンカーボルトの検定比が最も厳しい箇所を代表としてモデル化する。モデルのサイズは幅5.6m、高さ5.6m、厚さ■■■■とし、配筋は、D25相当とする。また、アンカー削孔を行う前のケース（ケースA）と保守的に壁全面にアンカー削孔を実施したケース（ケースB）のモデルを作成する。アンカー孔（φ40）は、400mmの間隔で設置する。また、アンカー孔は深さ方向には壁を貫通させており、貫通しない場合より剛性が下がるため保守的な検討としている。



全体図



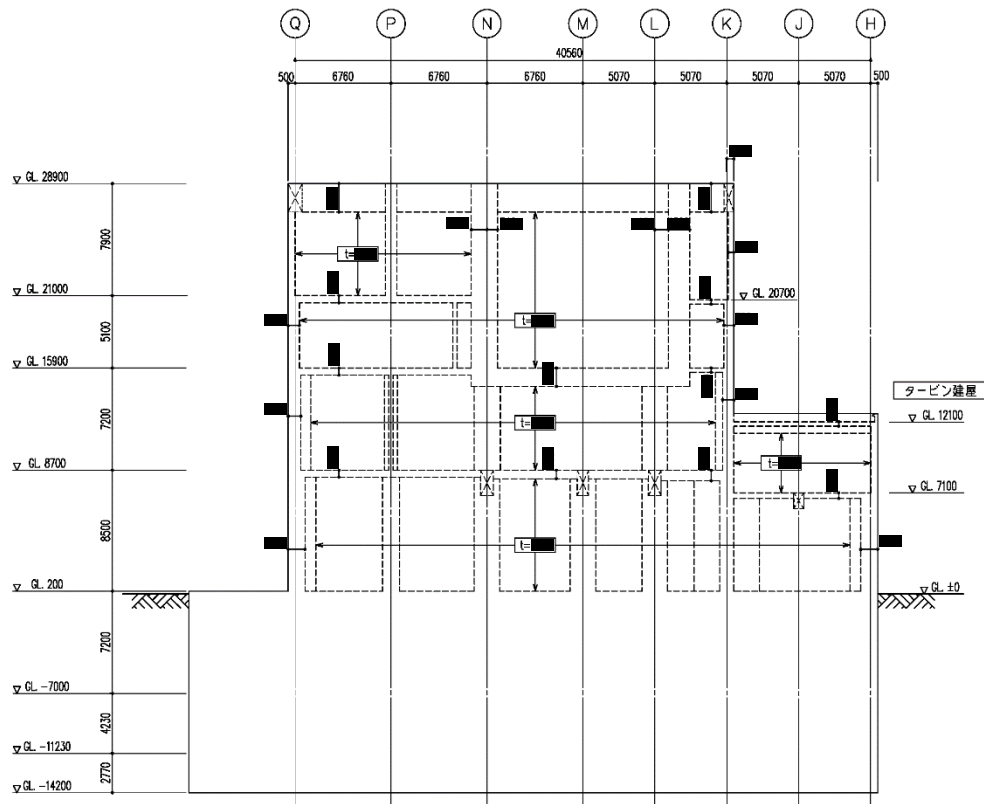
孔部分拡大図

解析モデル図

■ モデル化の基本方針

● モデル概要

モデル化対象面の図面を示す。



高さ部位	配筋	
G.L.8700~15900	タテ筋	3-D25@200
	ヨコ筋	3-D25@200

南面外壁軸組図

外壁配筋リスト

- 解析諸元

使用材料の物性値を表に示す。

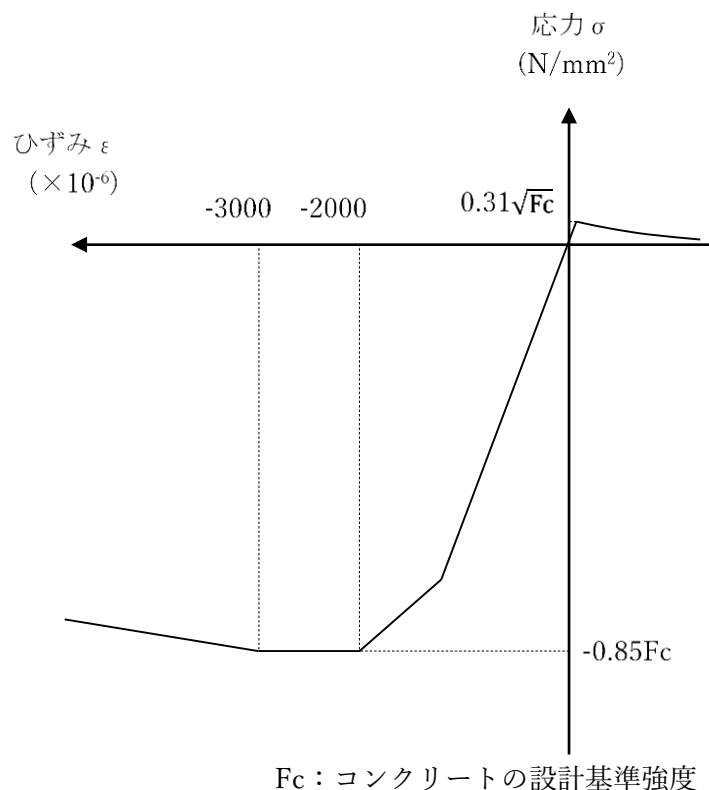
解析に用いる使用材料の物性値

諸元		物性値
コンクリート	圧縮強度 σ_c	22.1 N/mm ²
	引張強度 σ_t	1.46 N/mm ²
	ヤング係数	2.57×10^4 N/mm ²
	ポアソン比	0.2
鉄筋	降伏強度 σ_y	345 N/mm ²
	ヤング係数	2.05×10^5 N/mm ²

● 材料構成則

評価で用いる材料構成則を図に示す。

なお、ヤング係数は実強度に基づく値とし、コンクリートの圧縮強度は設計基準強度に基づく値とする。



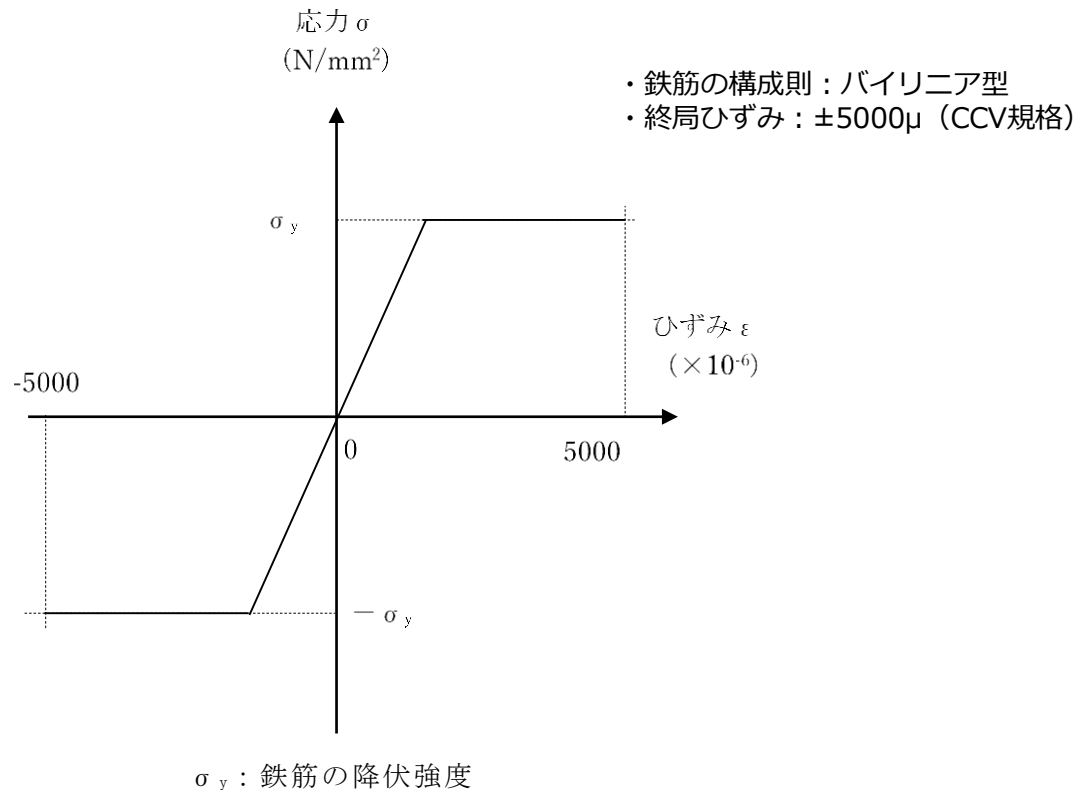
項目	設定
圧縮強度	-0.85F _c (CCV規格)
終局圧縮ひずみ	-3000μ (CCV規格)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model codeに基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 (c=0.4) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$ (JEAC4601)

1. Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE),1993
2. 出雲淳一, 島弘, 岡村甫: 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol.25, No.9, 1987.9

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係
材料構成則 (1/2)

● 材料構成則

評価で用いる材料構成則を図に示す。



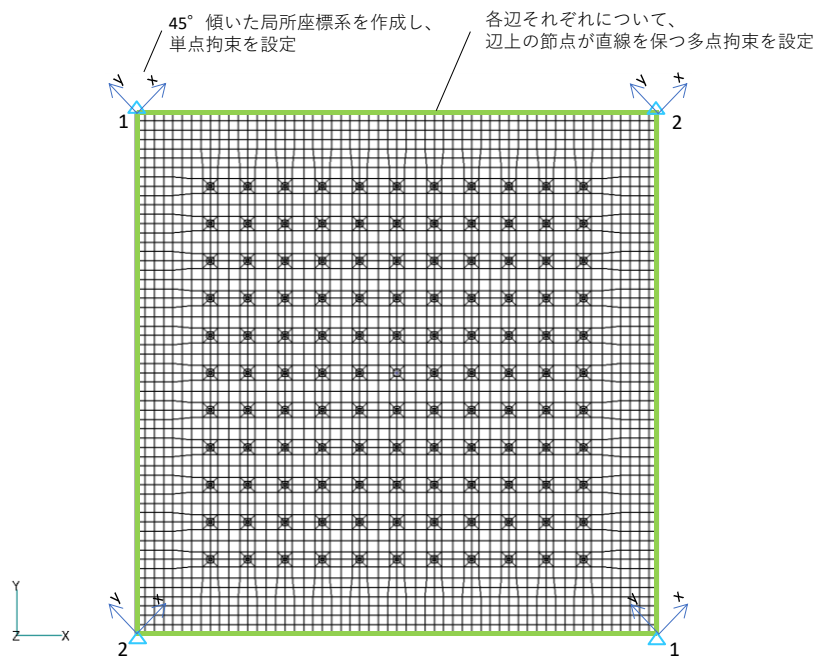
(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係
材料構成則 (2/2)

● 応力解析方法

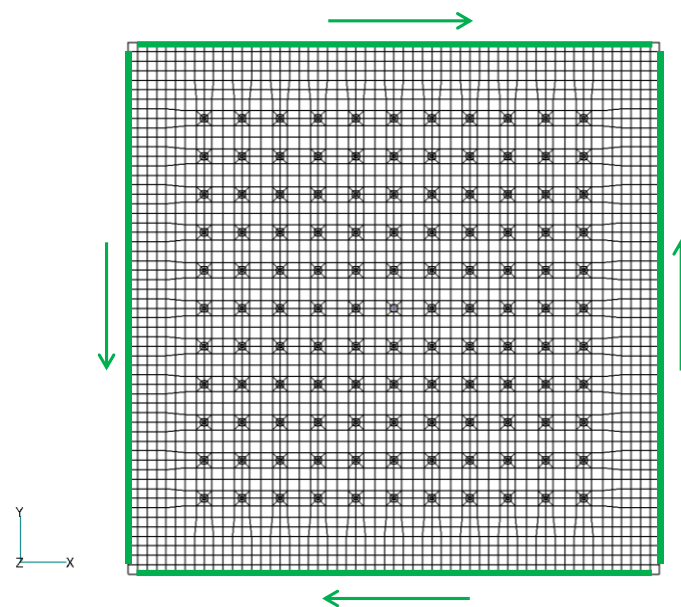
両ケース共に3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

境界条件としては、鉄筋コンクリート造平板が純せん断変形するように、4隅をローラー支持とし、黄緑色で示す節点が直線を保つよう拘束する。

荷重としては、緑色で示す4边上の節点に集中荷重を与え、面内せん断力を入力する。



境界条件図



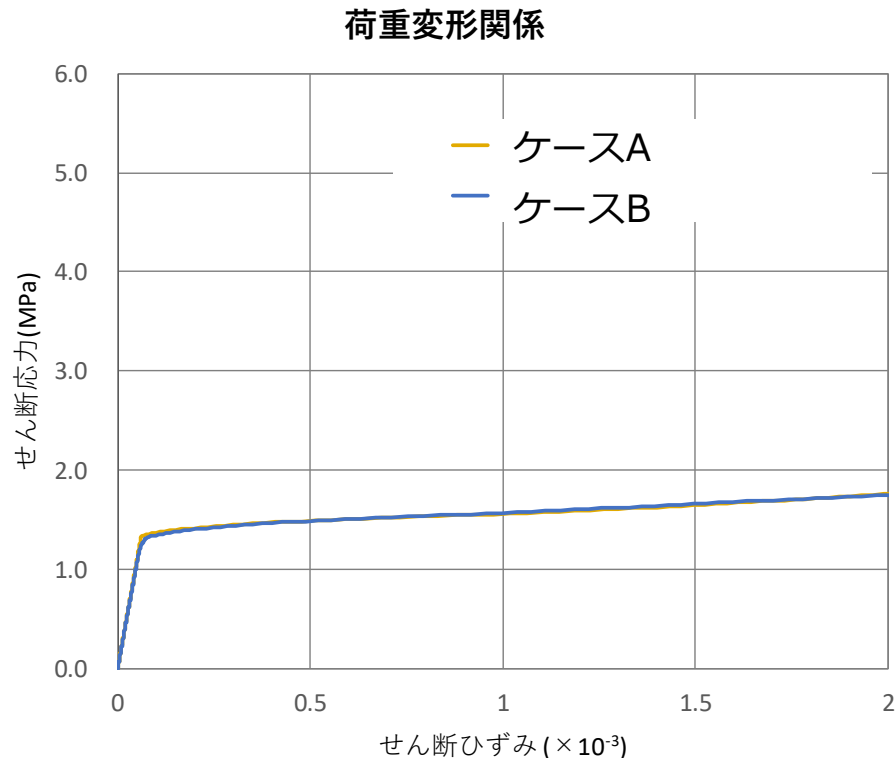
荷重条件図

■ 評価結果

● せん断ひずみ応力関係

ケースAとケースBの荷重変形関係を下図に示す。

削孔があるケースBにおいても、ケースAとほぼ同様な荷重変形関係を示しており、削孔は外壁の耐力に影響を与えないと考えられる。

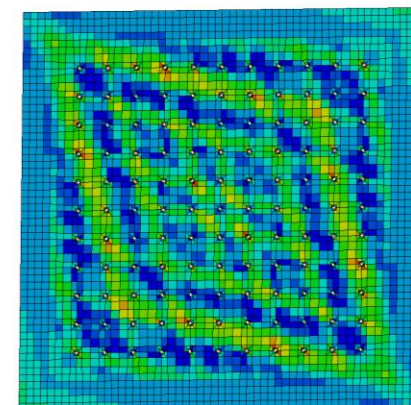
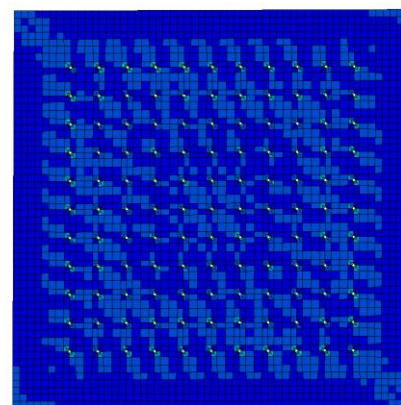
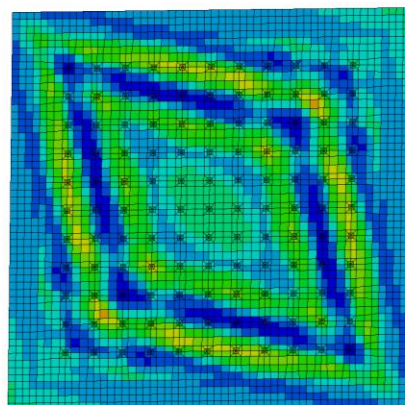
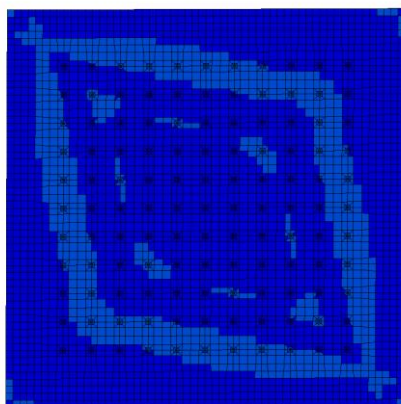
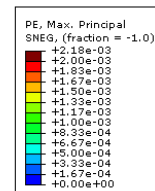


荷重変形関係

■ 評価結果

● 主ひずみコンター図

ケースAとケースBを比較すると、ケースBでは孔周辺に局部的にひずみが発生する。一方で、全体としては大きな違いは見られない。



せん断ひずみ 約 0.2×10^{-3} 時

せん断ひずみ 約 0.6×10^{-3} 時

せん断ひずみ 約 0.2×10^{-3} 時

せん断ひずみ 約 0.6×10^{-3} 時

主ひずみコンター図 (ケースA)

主ひずみコンター図 (ケースB)

■ 評価結果

● コンクリート及び鉄筋のひずみ

評価するせん断ひずみは、評価した外壁のスケルトン第一折れ点のひずみ（約 0.2×10^{-3} ）、Ss900における最大せん断ひずみ（最大 0.23×10^{-3} ）を考慮した。

ケースA、ケースBともに発生するひずみは、CCV規格に基づく許容限界ひずみ（コンクリート 3.0×10^{-3} 、鉄筋 5.0×10^{-3} ）よりも小さく、許容値を満たしている。

最大主ひずみ

単位： $\times 10^{-3}$

ケースA				
せん断ひずみ	コンクリート		鉄筋	
	発生値	許容値	発生値	許容値
約0.200	0.358	3.00	0.055	5.00
約0.230	0.440	3.00	0.067	5.00

ケースB(一般部)				
せん断ひずみ	コンクリート		鉄筋	
	発生値	許容値	発生値	許容値
約0.200	0.391	3.00	0.073	5.00
約0.230	0.465	3.00	0.092	5.00

ケースB(開口部)				
せん断ひずみ	コンクリート		鉄筋	
	発生値	許容値	発生値	許容値
約0.200	1.134	3.00	0.412	5.00
約0.230	1.243	3.00	0.461	5.00

■ 面内実験結果とシミュレーション解析の比較による検証

● 検証概要

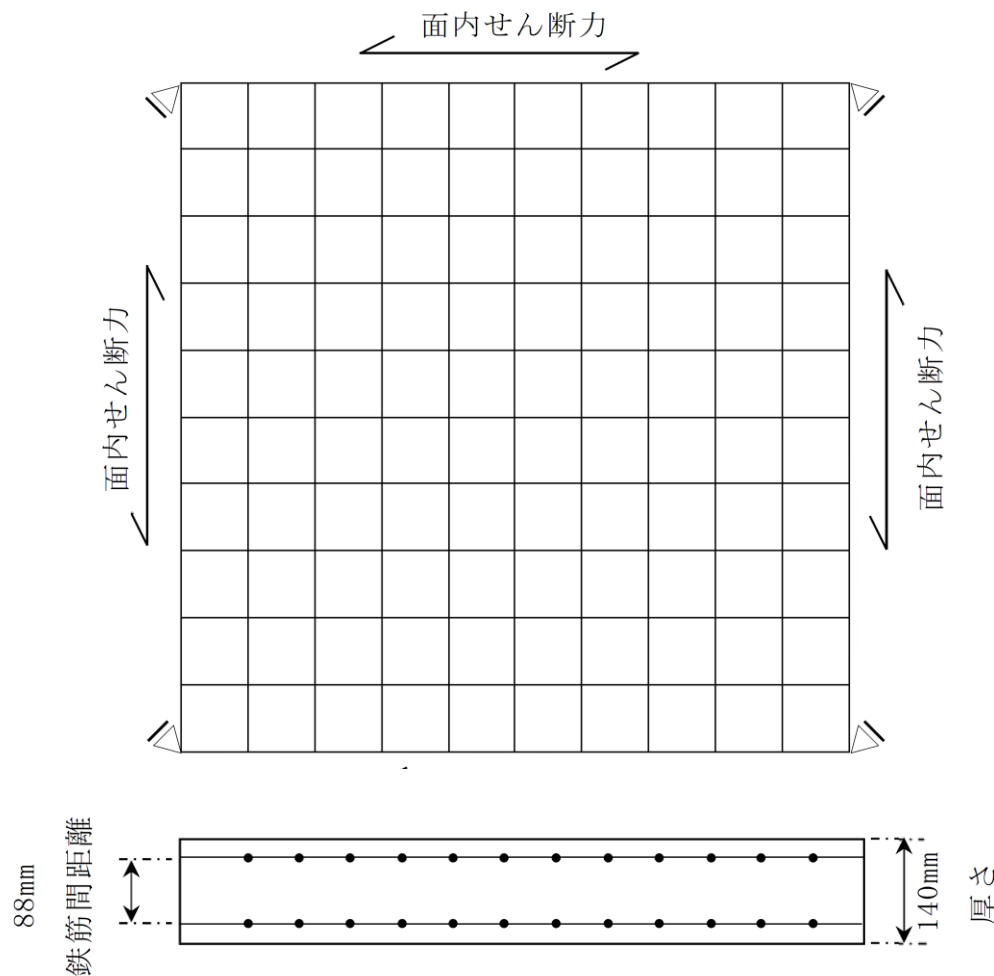
本解析コードが静的非線形解析において妥当であることを検証する。

文献（※1参照）に示される面内せん断荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の崩壊問題を、積層シェル要素と鉄筋要素でモデル化し静的非線形解析を行い、実験結果の荷重－変位関係と解析結果の整合を確認する。

※1 大森，高橋，坪田，井上，栗原，渡辺：「繰返し面内せん断力を受ける鉄筋コンクリート平板の弾塑性挙動に関する実験的研究」，日本建築学会構造系論文報告集，第403号
・1989年9月

● 検証モデル

図に解析モデルを示す。正方形の鉄筋コンクリート造平板が純せん断変形をするよう4隅をローラー支持し、4辺上の節点に集中荷重を与え面内せん断力を入力する。鉄筋は上端、下端及び平面2方向にD10が75mm ピッチで配筋されている。



● 材料物性値

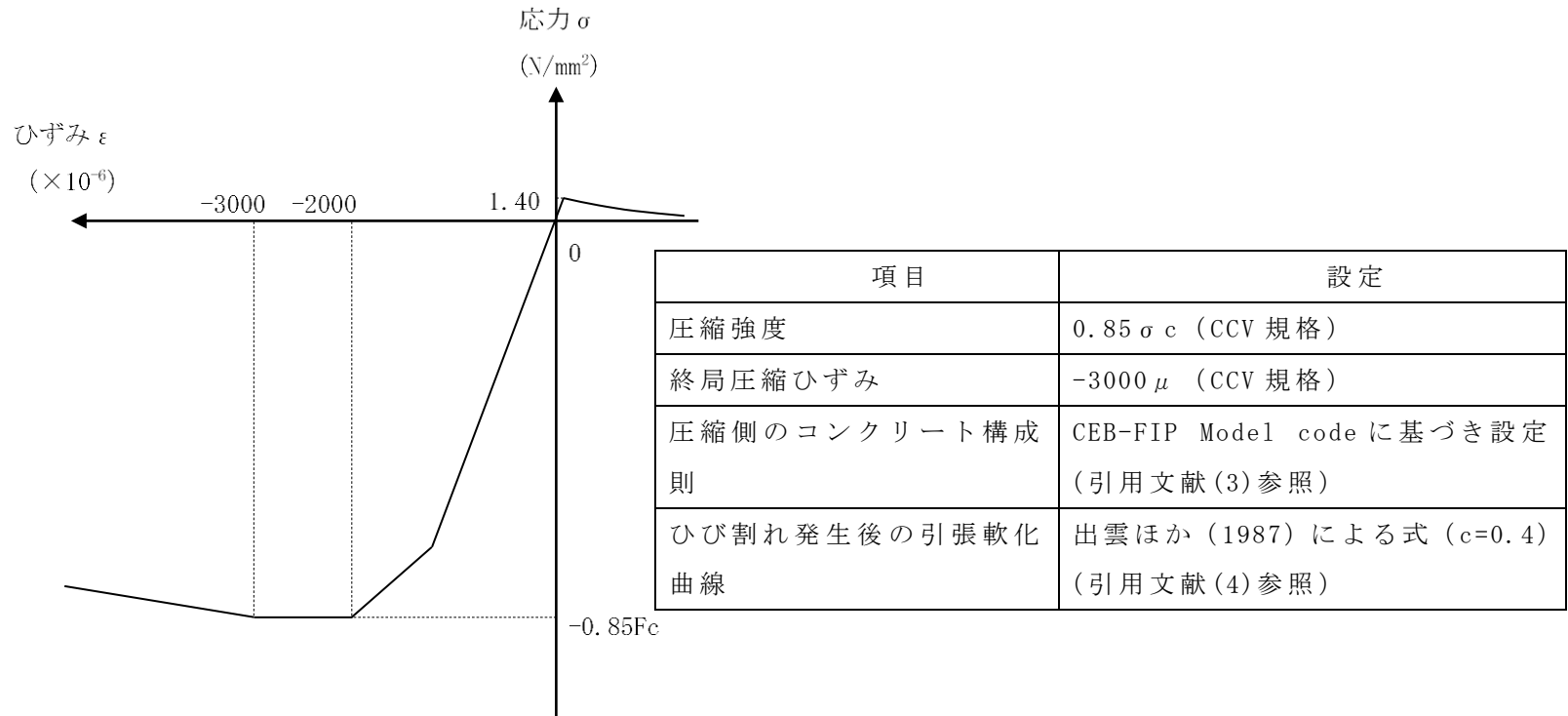
表に解析に用いる材料物性値を示す。材料物性値は原則として文献（※1参照）に記載の値を用いる。ただし、コンクリートのポアソン比は文献から得ることができないため「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説2010」に基づき算定した値を用いる。

解析に用いる物性値

諸元		物性値
コンクリート	圧縮強度 σ_c	31.4 N/mm ²
	引張強度 σ_t	1.40 N/mm ²
	ヤング係数	2.21×10^4 N/mm ²
	ポアソン比	0.2
鉄筋	降伏強度 σ_y	398 N/mm ²
	ヤング係数	2.00×10^5 N/mm ²

● 材料構成則

鉄筋コンクリートの材料構成則は以下の通り。引張強度は文献の実験で得られた $0.25\sqrt{f_c}$ を用いる。

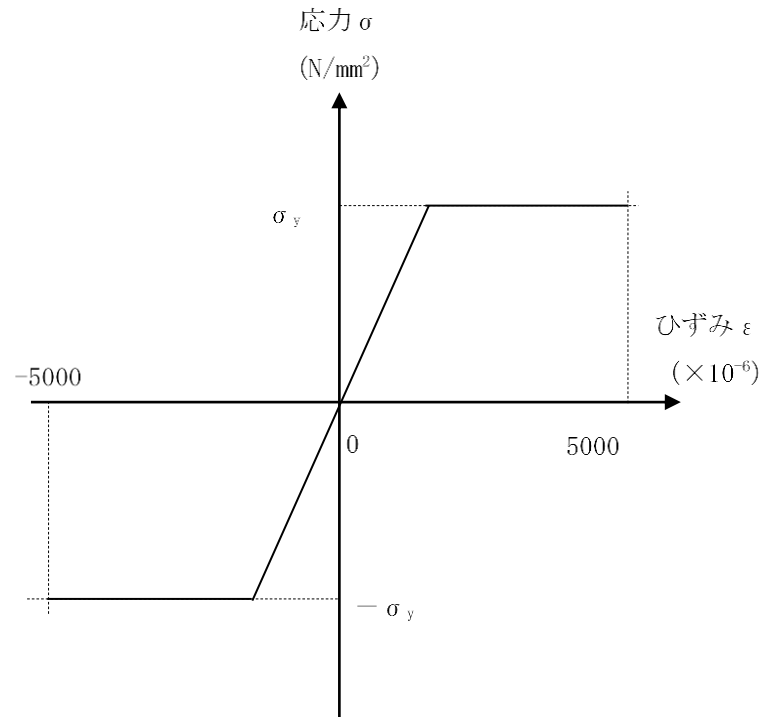


F_c : コンクリートの設計基準強度

コンクリートの応力-ひずみ関係

- 材料構成則

鉄筋コンクリートの材料構成則は以下の通り。



σ_y : 鉄筋の降伏強度

鉄筋の応力－ひずみ関係

● 解析結果

解析結果の荷重－変形関係を文献の図（※1参照）に重ねて図に示す。図より両者は概ね一致していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。

