

1. はじめに: ASR 劣化によりケミカルプレストレスが生じてコンクリートが膨張することに対し、外力と熱ひずみで ASR 劣化を模擬する RC 部材の解析モデルを用いて FEM 数値解析を行い、既往の研究における実験結果と比較することでその妥当性を検証するとともに、せん断耐荷性状に及ぼす影響について検討した。

2. 解析概要: 松田らが行った CFRP シート接着により曲げ補強した ASR 劣化した RC はりの載荷実験¹⁾を対象とし、解析的に実験結果を再現することとした。ASR 劣化のない健全な供試体(RB1)と、ASR 劣化した供試体(RB2)の2種類を、解析の対象とした。ASR 劣化した RC はりのせん断挙動解析には FEM 解析コード「DIANA」を用いた。鉄筋は、2 節点トラス要素を用いて表現し、Von Mises の降伏基準を適用した。付着要素をコンクリートと鉄筋、コンクリートと CFRP シートの間に設けた。

コンクリートは4 節点平面応力要素を使用し、分散ひび割れモデルとし、全ひずみ理論に基づく、回転ひび割れモデルを適用した。ASR 劣化が生じたコンクリートは、シリンダーのような無拘束状態の供試体と RC はりのような鉄筋による拘束を受ける状態の供試体とでは劣化程度が異なるため、シリンダーの材料試験結果から構成則を定義するのは ASR 劣化供試体を解析するうえで適切ではない。本研究では、供試体において測定した超音波伝播速度から推定することとした。解析対象供試体の材料特性を表-1 に示す。

以下に圧縮強度の推定式を示す。

$$f_c' = 0.5494 \exp(0.9873 Vu) \quad (1)$$

ここに、 f_c' : コンクリート圧縮強度 (N/mm²)、 Vu : 超音波伝播速度 (km/sec)

また、以下に弾性係数の推定式を示す。

$$E_c = 0.951 \exp(0.814 Vu) \quad (2)$$

ここに、 E_c : コンクリート弾性係数 (kN/mm²)、 Vu : 超音波伝播速度 (km/sec)

表-1 材料特性

供試体種類		RB1	RB2	
コンクリート要素	圧縮強度 (N/mm ²)	46.9	33.4	
	引張強度 (N/mm ²)	3.3	2.3	
	静弾性係数 (kN/mm ²)	37.2	28.1	
	引張限界ひずみ (μ)	85	113	
鉄筋要素	主鉄筋 (D16)	降伏強度 (N/mm ²)	348	348
		弾性係数 (kN/mm ²)	200	200
		降伏ひずみ (μ)	1742	1742
	スターラップ (D6)	降伏強度 (N/mm ²)	325	325
		弾性係数 (kN/mm ²)	200	200
		降伏ひずみ (μ)	1625	1625
CFRP シート要素	引張弾性係数 (kN/mm ²)	262	262	

3. 解析モデル: ASR 劣化が構造部材に生じると、コンクリートが膨張する際にその膨張を鉄筋が拘束することによって、ケミカルプレストレス σ_{cp} が発生する。この σ_{cp} の影響で、コンクリートが負担する耐力が増加し、破壊モードに影響を及ぼすことが既往の研究から明らかとなっている。そのため本解析モデルにおいても、ASR によって生じる σ_{cp} の影響を考慮することとした。図-1 に外力で考慮した解析モデルを示す。本解析においては、 σ_{cp} 量に準じた外力を供試体端部から与えることで、簡易的に σ_{cp} の影響を考慮した。なお、導入する σ_{cp} 量は実験によって計測された引張鉄筋ひずみ値を用いて以下の式より算出した。

$$\sigma_{cp} = p \cdot E_s \cdot \varepsilon_{sp} = p \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cp} \quad (3)$$

ここに、 ε_{sp} : 鋼材に生じるケミカルプレストレイン、 ε_{cp} : コンクリートの膨張量、 E_s : 鋼材のヤング係数、 P : 拘束鋼材比。ここでは、載荷試験する前、引張鉄筋の初期ひずみの平均値が 526μ であり、 $\sigma_{cp} = 2.5 \text{ N/mm}^2$ である。

一方、コンクリート構造物の ASR 劣化の膨張作用に対し、プレストレスとして熱ひずみで導入し、コンクリート要素材料特性に温度線膨張係数を入力して ASR 劣化を模擬した解析も行った。まず、熱ひずみ解析を行い、鉄筋ひずみの解析結果が実験結果と比較し、ASR 劣化程度に合う熱ひずみに対応するプレストレスを検討した。その結果、鉄筋ひずみの平均値に合う熱ひずみは 500μ となった。その後、荷重を加えて耐荷力解析を行った。解析モデルを

図-2 に示す。

以下に ASR 劣化の影響として、 σ_{cp} を考慮した場合の解析結果を示す。なお、示した結果は劣化供試体 RB2 を基準供試体として検討したものであり、ASR 劣化の影響を考慮せずに解析した結果も合わせて示した。

4. 解析結果：図-3 の RB1 試験体に関する実験結果と解析結果の比較より、解析結果が実験結果を概ね追従できている。図-4 の ASR 劣化供試体 RB2 における比較を見ると、外力考慮したモデルは、劣化考慮なしの結果と比較して初期剛性に差は生じていないが、50kN 前後から両者に差が生じ始め、 σ_{cp} を考慮することで供試体の剛性と最大荷重が増加する結果となった。実験結果と比較すると、解析結果は剛性勾配が荷重 160kN から実験結果より若干低くなっているものの、終局まで実験結果と大略対応していることが分かる。また、熱ひずみで考慮した解析モデルに着目すると、実験において供試体の剛性と最大荷重について、外力で考慮したモデルの解析結果よりも増加しており、実験結果と一よく致していることが分かった。

図-5 に実験および解析結果における ASR 劣化供試体 RB2 のひび割れ図を示す。劣化考慮なしモデルにおいては、斜めひび割れ発生範囲が実験よりも顕著になっているのに対し、熱ひずみ考慮モデルの場合、実験と比較して、斜めひび割れの伸びる傾向と位置および引張鉄筋に沿った付着破壊の性状を再現できており、ケミカルプレストレスにより斜めひび割れ発生状況が大きく変化することが確認できた。

5. まとめ：本解析では、ケミカルプレストレス量に準じた外力を供試体端部から与えることで、ASR 劣化供試体の実験結果において、荷重-たわみ関係とひび割れ性状を大略再現可能であることが分かった。また、コンクリート

要素材料特性に温度線膨張係数を入力し、鉄筋ひずみ初期平均値に準じた熱ひずみを導入することで、外力で考慮した手法より実験結果に近づいたことが分かった。

参考文献：松田豊樹，森川英典，岩田卓，瀧靖文：ASR が生じたコンクリート部材の劣化状態およびせん断耐荷性能に関する検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第9巻，pp.381-388，2009.10.

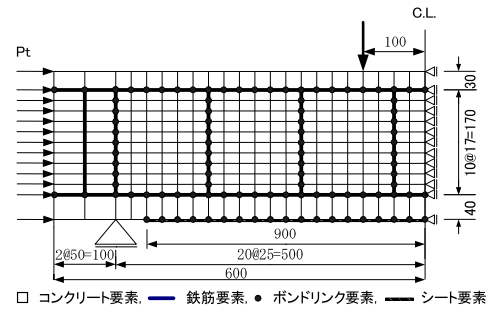


図-1 外力で考慮した解析モデル

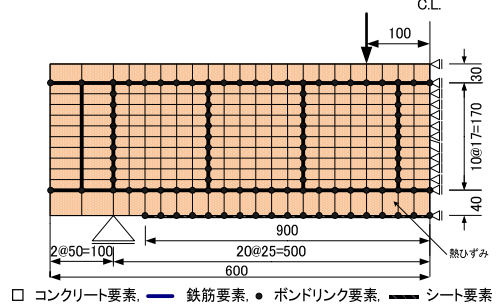


図-2 熱ひずみで考慮した解析モデル

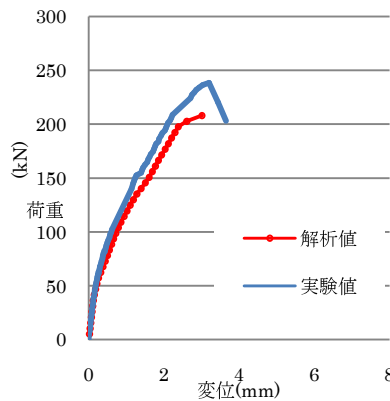


図-3 荷重-変位関係 (RB1)

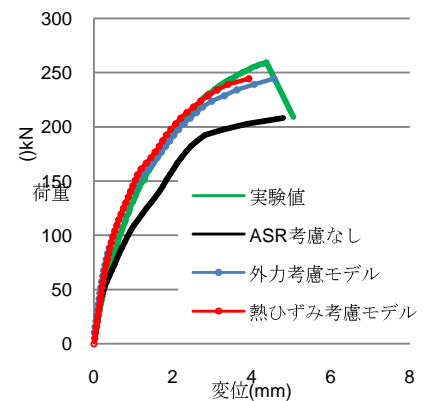


図-4 荷重-変位関係 (RB2)

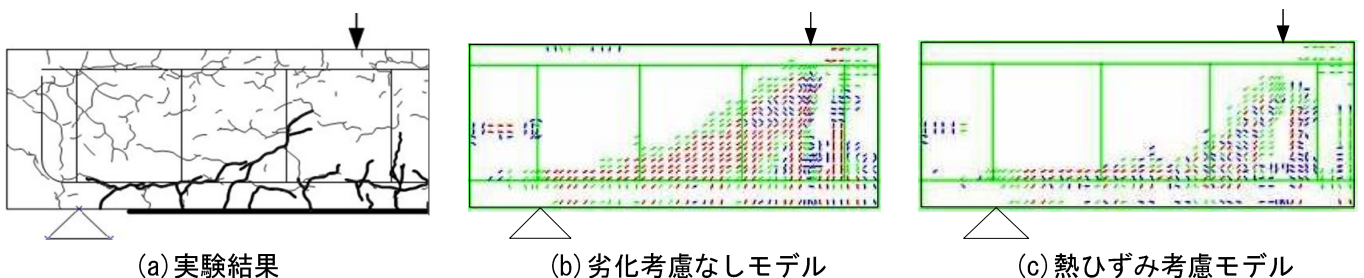


図-5 ひび割れ性状 (荷重 200kN 時)