

京都大学 学生会員 ○新田 裕樹 京都大学 正会員 山本 貴士
京都大学 正会員 高谷 哲 京都大学 フェロー 宮川 豊章

1. 研究目的

本研究では、ASR 膨張を生じるコンクリートにプレストレスなどの持続圧縮応力を付与した場合のコンクリートの時間依存性の変形特性を明らかにすることを目的とし、反応性骨材を用いて作製したコンクリート供試体に対して、PC 構造を想定して ASR 膨張開始前から持続圧縮応力を作用させ、圧縮変形の時間変化を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体および実験要因

供試体は、直径×高さ=100×200 mm の円柱で、中心に圧縮応力導入用の PC 鋼棒を通すための ϕ 16mm 孔を設けた。 ϕ 13mmPC 鋼棒(SBPR930/1080)に、アンボンドのポストテンション方式で緊張力を与え、圧縮応力を導入した。

実験要因を表 1 に示す。コンクリートの水セメント比は 45%とし、ASR 劣化を生じるコンクリートには、反応性骨材として北海道産の安山岩碎石をペシマム配合で用いた。載荷応力は、プレストレスレベルを想定した 10 N/mm²とコンクリート強度の約 1/3 の 15 N/mm²とした。

2.2 測定方法および項目

供試体側面に高さ中央をはさんだ基長 150mm のゲージプラグを接着し、コンタクトゲージ法により長さ変化を測定した。また、PC 鋼材にひずみゲージを等間隔で 3 箇所貼付け、プレストレス導入前後の PC 鋼材のひずみを測定した。

2.3 促進暴露

供試体脱型から 1 週間の水中養生の後、プレストレスを導入した。導入直後から 6 日間 40℃, 95%RH, 1 日間乾燥 (20℃, 60~70%RH) を 1 サイクルとする促進暴露環境下に置いた。

3. 実験結果および考察

ひずみの変化量と経過日数の関係を、反応性骨材使用の有無ごとに図 1 に示す。いずれも応力レベルが大きいほどひずみの変化量が多い。また、ASR 供試体では、応力レベルによらず 10 日前後から ASR 膨張の開始に伴

表 1 実験要因一覧

ASR	載荷応力 [N/mm ²]	個数
無	0	3
	10	3
	15($f_{ck} \times 1/3$)	3
有	0	3
	10	3
	15($f_{ck} \times 1/3$)	3

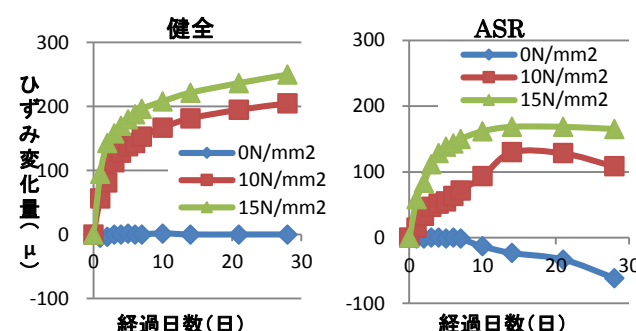


図 1 ひずみの変化量

って圧縮ひずみの増加が小さくなっている、あるいは若干膨張に転じている。多湿環境下であること、および ASR ゲルが吸水膨張し始めたことにより、クリープ変形の停止が早まった可能性がある。ただし、ASR 膨張に伴う微細ひび割れが発生、進展すると、微細ひび割れへの ASR ゲルの移動が生じて変形が進行することも予想される。

4. 持続圧縮応力下の ASR 劣化コンクリートの変形予測

ここでは、持続圧縮応力下の ASR 劣化コンクリートの変形を、ASR 膨張ひずみとクリープひずみを考慮して予測する手法を示す。

4.1 ASR 膨張ひずみの予測

ASR 膨張ひずみ ε_{xp} の時間変化は、化学反応現象を表す一般的な次式の S 字曲線を仮定した。

$$\varepsilon_{xp}(\%) = \frac{a-b}{1+(\frac{t}{c})^{b+d}} + e \quad (1)$$

ここに、a, b, c, d, e: 曲線の各係数

現時点では収束に至るまでの ASR 自由膨張が得られていない。そこで、同じ反応性骨材を用いた供試体の自由膨張データより各係数を算出したものを表 2 に示す。

4.2 鋼材拘束および圧縮応力作用下の ASR 劣化コンクリートの最終膨張量の推定

表 2 は、自由膨張する ASR コンクリートの膨張ひずみ予測式の係数である。したがって、鋼材の拘束下、および持続圧縮応力下にある場合の ASR 膨張ひずみの最終値、すなわち膨張ひずみ予測式の最終収束値を定める必要がある。そこで、膨張コンクリートのエネルギー一定則が ASR 膨張コンクリートにも成り立つと仮定して、ASR 膨張ひずみと拘束比の関係から、ASR 膨張が収束するまでのコンクリートの単位体積あたりの膨張エネルギー U_{ASR} を設定して、今回の供試体の鋼材拘束比に対する最終膨張ひずみを求めた。ASR 膨張エネルギー U_{ASR} には、 $2410\text{N}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ を用いた¹⁾。また、持続圧縮応力が作用しているため、膨張拘束に伴うケミカルプレストレス σ_{cp} に加え、持続圧縮（载荷）応力 σ_{ps} の影響を考慮する。このとき、圧縮応力が導入された系における単位体積あたりの膨張エネルギー U は次式で表される。

$$U = \sigma_{cp} \cdot \frac{\varepsilon_{cp}^2}{2} + \sigma_{ps} \cdot \varepsilon_{cp} \quad (2)$$

ここに、 σ_{cp} : 導入されるケミカルプレストレス
 ε_{cp} : コンクリートの膨張ひずみ
 E_s : 鋼材のヤング率 (=200 kN/mm²)
 p : 拘束鋼材比(= A_s/A_c = 1.72×10^{-2}) (A_c : コンクリート面積 A_s : 鋼材断面積)

また、 $\sigma_{cp} = \sqrt{2 \cdot U \cdot E_s \cdot p}$ の関係を用いて上式を ε_{cp} について整理すると次式を得る。

$$\varepsilon_{cp} = \frac{-2\sigma_{ps} + \sqrt{4\sigma_{ps}^2 + 8pE_sU}}{2pE_s} \quad (3)$$

式(3)より求めた各载荷応力の ASR 膨張ひずみの最終膨張ひずみを表 4 に示す

4.3 クリープひずみの予測

クリープひずみの予測には次の対数関数を用いた。

$$\varepsilon_{ct} = A \cdot \log(t+1) + B \quad (4)$$

ここに、 ε_{ct} : クリープひずみ

A, B : クリープ曲線式の係数

実験から得られた係数を表 3 に示す。

4.4 持続圧縮荷重下の ASR 劣化コンクリートの変形予測

以上の ASR 膨張ひずみ予測式とクリープ予測式を用い、持続圧縮荷重下での ASR 劣化コンクリートのひずみ

表 2 自由膨張時の ASR 膨張ひずみ予測式の係数

a	b	c	d	e
-1490	3.78	65.6	-0.823	8350

表 3 ASR 膨張ひずみ予測式の係数

σ_{ps} (N/mm ²)	a	b	c	d	e	A	B
0	-1490	3.78	65.7	-0.823	8350	0.00	0.00
10	-38.7	3.78	65.7	-0.823	238	60.3	19.0
15	-48.2	3.78	65.7	-0.823	380	66.7	47.4

表 4 ASR 最終膨張ひずみ

载荷応力 σ_{ps} (N/mm ²)	ASR 最終膨張ひずみ ε_{cp} (μ)
10	231.8
15	157.8

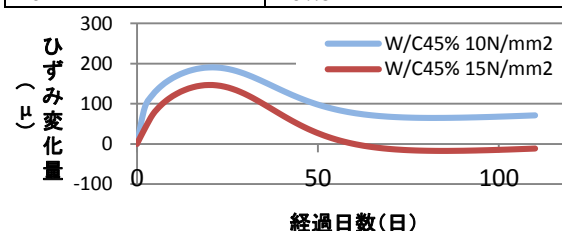


図 2 ASR 劣化コンクリートの持続圧縮応力下での変形挙動の予測

の時間変化を次式で推定した。応力導入時の弾性変形後のひずみを 0 としたときのひずみの変化量と経過日数の関係を図 2 に示す。自由膨張ひずみの時間変化を今回の供試体のものに対応させる必要はあるものの、载荷初期の段階で圧縮ひずみが大きくなる実験結果の傾向を捉えることができた。

$$\varepsilon = (A \cdot \log(t+1) + B) - \left(\frac{a-b}{1 + \left(\frac{t}{c}\right)^{b+d}} + e \right) \quad (5)$$

5. 結論

本研究で得られた主な結果をまとめて結論とする

(1)ASR 膨張コンクリートは、ASR 膨張の開始を受け、10 日前後からひずみが若干膨張側に転ずる傾向を示した。多湿環境下、および ASR ゲルの吸水膨張により、クリープ変形の停止がより早まった可能性がある。ただし、ASR 膨張に伴う微細ひび割れにより、微細ひび割れへの ASR ゲルの移動が応力レベルによって変化することもありうるため、経過の観察とともに検討が必要である。

(2) ASR 劣化の生じるコンクリートの持続荷重下での圧縮変形挙動の予測手法により、促進暴露・プレストレス導入後 28 日目までクリープが卓越する傾向を捉えることができた。

参考文献

- 1) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書，pp.117