

コンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生限界に関する研究

Critical Limit of Concrete Cracks due to Drying Shrinkage

大野俊夫*・魚本健人*

Toshio OHNO and Taketo UOMOTO

1. はじめに

コンクリートは圧縮強度に比べて引張強度が小さく、また脆性的な材料であるため、ひび割れが発生しやすい材料とされている。コンクリートにひび割れが発生すると遮蔽性能が低下することから、水や有害物質の出入りが容易になる。海洋構造物では鉄筋の発錆の原因となる塩化物の侵入経路となり、構造物の耐久性を著しく低下させる。また、遮水性能が求められる構造物では漏水の原因となり、マンションなどのひび割れ補修箇所は外観を低下させ、商品価値を低下させる一因となる。

ひび割れ発生原因としては乾燥収縮によるものとセメントの水和熱によるものが多いとされているが、ひび割れ発生を精度よく予測できていないのが現状である¹⁾。ひび割れ発生は体積変化が何らかの拘束体に抑制される際に生じ、そのタイミングとしては引張応力が引張強度を超える場合、引張ひずみが引張伸び能力を超える場合が考えられている。

本報告では、乾燥収縮ひび割れを対象として、これに影響する水セメント比、乾燥開始材齢、拘束度を実験要因に取上げ、軽量溝形鋼を拘束体とする拘束収縮ひび割れ試験を実施し、各要因がひび割れ発生に及ぼす影響や、ひび割れが発生する際のひずみなどについて検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験要因

乾燥収縮ひび割れに影響する要因として図1に示すものが考えられるが、本実験ではこのうち水セメント比、乾燥開始材齢、拘束度を取上げ、表1に示す組合せで実験を行った。

2.2 実験条件

試験体の形状・寸法及び作製方法はJIS原案「コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法」修正案²⁾に準拠した。試験状況は写真1に、試験体の形状・寸法は図2に示すとおりである。拘束板はJIS G 3350の軽みぞ形鋼の厚さ2.3 (拘束度：中)、3.2mm (拘束度：大) のものを用い、また、厚さ2.3mmのウェブを幅50mm切取ったもの (拘束度：小) を用いた。

表1 実験条件の組合せ

No.	水セメント比 (%)	乾燥開始材齢 (日)	拘束度
1	30	7	中
2	45		
3	60	1	大
4		7	
5			
6		28	小
7			中

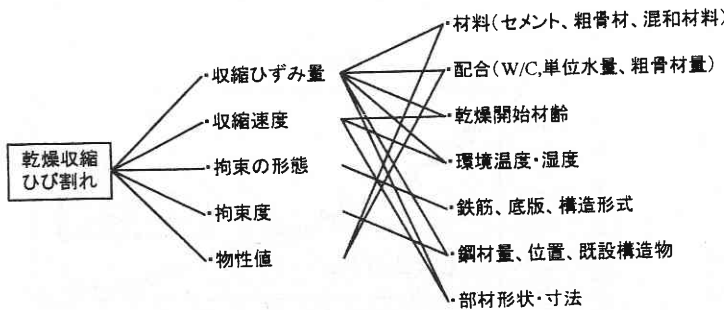


図1 乾燥収縮ひび割れに影響する要因

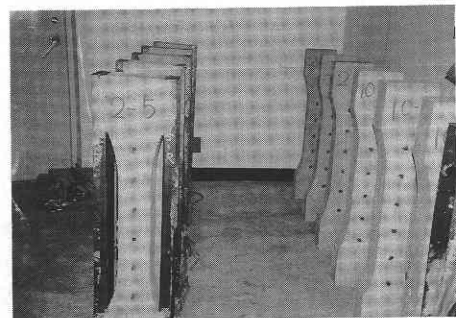


写真1 試験状況

*東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

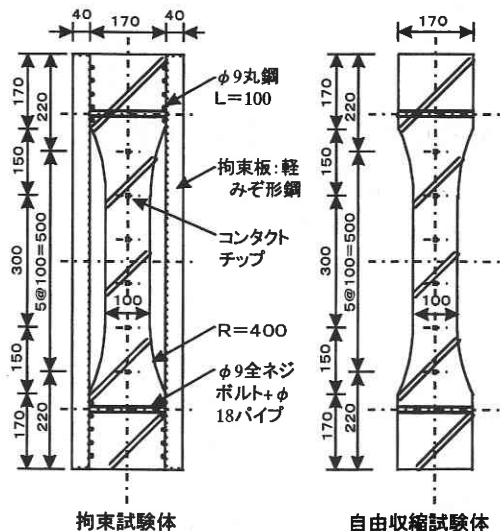


図2 試験体の形状・寸法

表2 コンクリートの配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (Kg/m ³)				
		W	C	S	G	混和剤
30	37.6	167	557	604	1030	C×0.5%
45	43.1		371	759		C×0.2%
60	45.5		278	837		C×0.2%

試験体を静置した養生室の温度は全試験期間を通して 20.5±1.5°C, 湿度は62±5RH%の範囲にあった。なお、試験体数は拘束試験体が5体のほかは全て3体とした。

2.3 コンクリート配合

コンクリートの配合は単位水量, 単位粗骨材量一定のもとで設計したものであり, その配合を表2に示す。使用材料は, セメントは普通ポルトランドセメント (比重3.15, 比表面積3,260cm²/g), 細骨材は富士川産川砂 (比重2.63, 吸水率2.01%, 粗粒率2.75), 粗骨材は両神産砂岩碎石 (比重2.70, 最大寸法20mm, 吸水率0.51%, 粗粒率6.66) である。混和剤は水セメント比45%, 60%ではオキシカルボン酸塩系の AE 減水剤, 水セメント比30%ではポリカルボン酸塩系の高性能 AE 減水剤とした。

2.4 試験項目

a. 拘束収縮試験: 拘束板のひずみは重心位置4点にひずみゲージを貼り, コンクリートの始発以後, 試験体に貫通ひび割れが発生するまで3時間毎に自動計測した。コンクリートのひずみは乾燥開始時に表面にチップを中心部500mmに検長100mmで貼り, 以後1~2日おきにコンタクトストレインゲージ (精度0.001mm) により測定した。

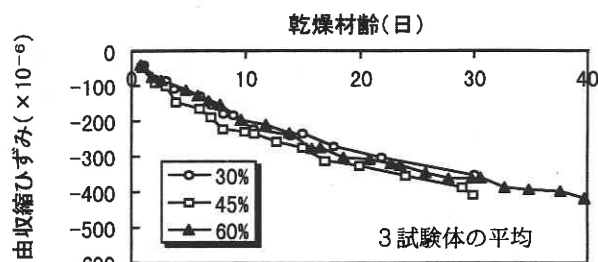
b. 自由収縮試験: 拘束試験体と同様に乾燥材齢以後の

コンクリートのひずみを測定した。

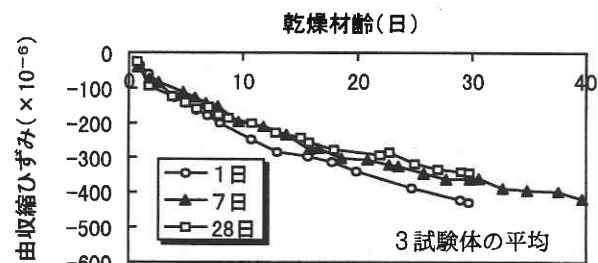
c. 自己収縮試験: 湿潤養生過程で受けるコンクリートのひずみを測定するため, 日本コンクリート工学協会「自己収縮研究委員会報告」³⁾に準拠し, 100×100×400の試験体により材齢24時間後から乾燥開始材齢までの自己収縮を測

表3 物性試験結果

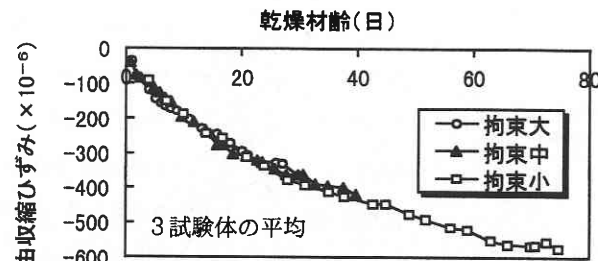
No.	フレッシュ			材齢28日 (水中養生)	
	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上り温度 (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
1	14.5	4.4	24.2	56.45	3.71
2	10	4.6	21.2	43.02	3.4
3	8.5	4.8	20	36.76	2.89
4	9	4.2	22.4	32.5	2.95
5	6	5.3	22.5	35.73	3.18
6	9.5	4.8	21.3	32.54	2.95
7	8	4.7	20.5	37.05	3.09



(a) 水セメント比の影響



(b) 乾燥開始材齢の影響



(c) 拘束度ごとに作製した同一配合の場合

図3 自由収縮ひずみの履歴

定した。乾燥開始材齢以後は自由収縮試験体と同様に乾燥条件下で乾燥収縮ひずみを測定した。

d. 強度試験：圧縮強度試験 ($\phi 100 \times h200$)，静弾性係数試験 ($\phi 100 \times h200$)，割裂引張強度試験 ($\phi 150 \times h200$) は乾燥開始材齢及び拘束試験体の1体目，5体目にひび割れが発生した際，材齢28日(引張試験を除く)に実施した。なお，水中養生のほかの全ての試験体は拘束試験体など同一の乾燥条件とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 物性試験結果

表3に各ケース毎に実施した物性試験の結果を，図3に各要因ごとに整理した自由収縮ひずみの履歴を示す。図3(a)より，水セメント比45%の自由収縮ひずみが30%，60%に比べて若干大きいことが分かり，(b)図より乾燥開始材齢が若いほど自由収縮ひずみが大きくなっていることが分かる。また，(c)図は同一配合の場合であるが自由収縮ひずみがほぼ同一であることが分かる。

3.2 ひび割れ発生日数

拘束試験体には乾燥開始後数日から70日程度で，各試験体1本ずつ断面を貫通するひび割れが発生した。図4に乾燥開始からのひび割れ発生日数を示す。5試験体のひび割れ発生日数の平均は水セメント比30，45，60% (実験No. 1, 2, 5) でそれぞれ10.9，12.3，26.3日であり，水セメント比が小さいほどひび割れが早く発生する傾向が見られる。乾燥開始材齢1，7，28日 (実験No. 3, 5, 7) では平均16.0，26.3，25.4日であり，乾燥開始材齢1日ではひび割れが早く発生するものの，湿潤養生を7日間程度とればひび割れ発生日数に差がなくなると考えられた。また，拘束度大，中，小 (実験No. 4, 5, 6) は平均17.6，26.3，54.0日であり，拘束度が大きいほどひび割れ発生が早くなっている。

図5にひび割れ発生区間(100mm)におけるひび割れ発生前後の長さ変化をひび割れ発生日数との関係で整理して示す。ひび割れ発生前後の長さ変化はコンクリートに蓄積されているひずみの大きさに関係していると考えられるが，同図からひび割れ発生日数の増加に伴ってこのひずみが大きくなっていることが分かる。また，ひび割れ発生日数が長くなると発生時のひび割れ幅が大きくなることを示唆している。

3.3 引張伸び能力

図6に乾燥開始以後の拘束試験体のコンクリートひずみ(拘束収縮ひずみ)の経時変化の一例を，図7に自由収縮ひずみから拘束収縮ひずみを引いた拘束引張ひずみの経時変化を示す。図7において，拘束引張ひずみが小さく，履歴曲線が下側に位置する方がコンクリートに作用している

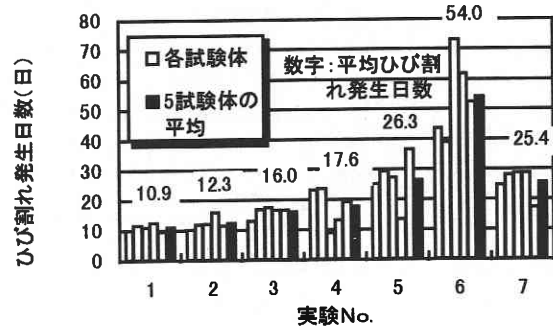


図4 ひび割れ発生日数

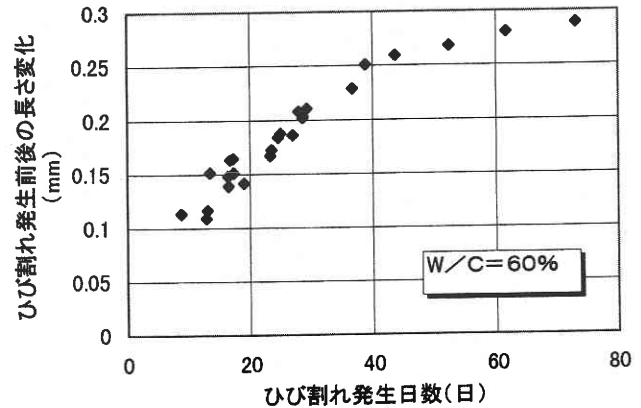


図5 ひび割れ発生日数とひび割れ発生前後の長さ変化の関係

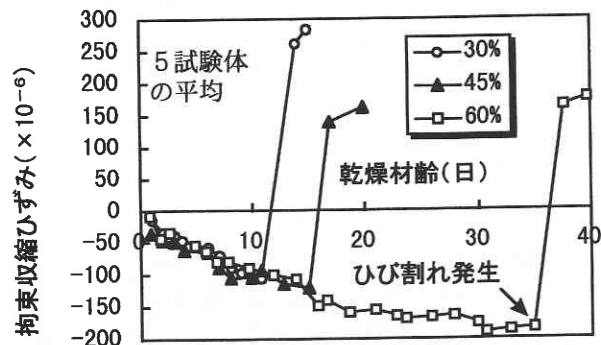


図6 拘束収縮ひずみの経時変化

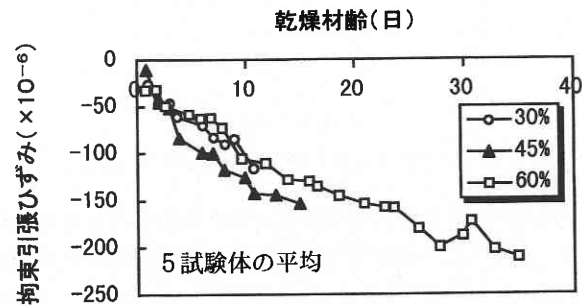


図7 拘束引張ひずみの経時変化

研究速報

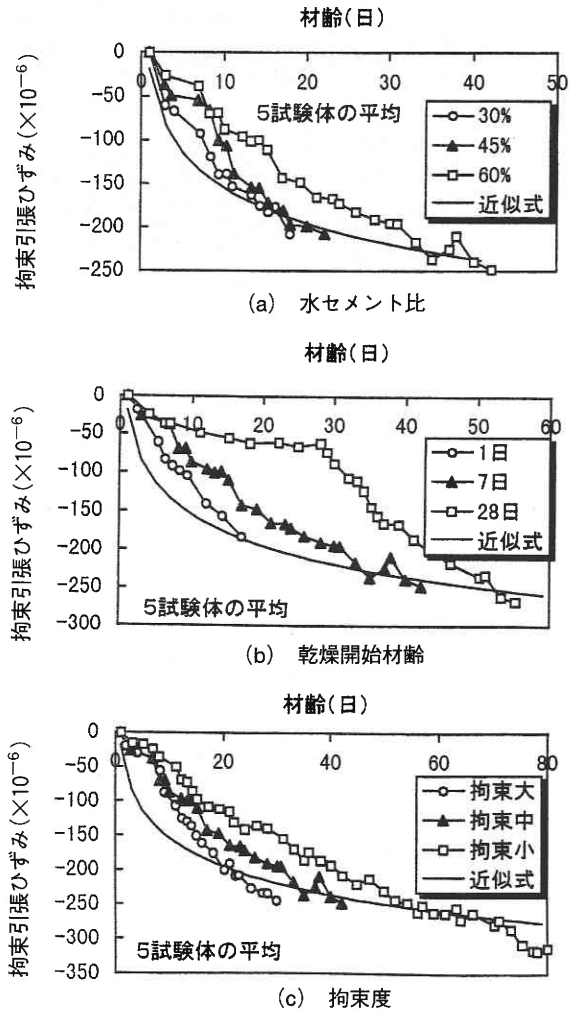


図8 拘束引張ひずみの履歴

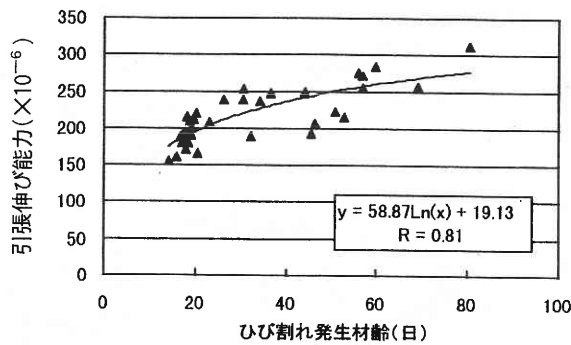


図9 ひび割れ発生材齢と引張伸び能力の関係

ひずみが大いいため、ひび割れが早く発生すると考えられるが、水セメント比30%と45%ではその関係が入れ替わっている。

次に、図8に加水時刻を基準とする材齢と拘束引張ひず

みの経時変化を示す。また、図9に引張伸び能力（ひび割れ発生時の拘束引張ひずみ）とひび割れ発生材齢の関係を示す。

この拘束引張ひずみは湿潤養生中に受けるひずみを考慮したものであり、湿潤養生中のひずみは自己収縮ひずみに実拘束率（拘束引張ひずみ/自由収縮ひずみ）の平均値を乗じて算出したものである。なお、ここでは自由収縮試験体と自己収縮試験体の収縮ひずみは等しい、湿潤養生中の拘束率と乾燥過程の拘束率が等しいと仮定している。

図9から、引張伸び能力はひび割れ発生材齢の増加とともに増加し、材齢20日前後では 200×10^{-6} 程度であるが、80日前後では 280×10^{-6} 程度に達することが分かる。

図8には、図9から得られたひび割れ発生材齢と引張伸び能力との関係の近似式を合せて示している。図8(a)から、水セメント比が小さいほど小さい拘束引張ひずみを示しており、履歴曲線が下側に位置する方がひび割れが早く発生する関係を説明できることが分かる。また、同様に(b)図から湿潤養生日数が短いほど、(c)図から拘束度が大きいほど拘束引張ひずみが小さく、早い材齢で引張伸び能力に達することが分かり、この引張伸び能力によってひび割れの発生時期を判断できると考えられる。

4. ま と め

乾燥収縮ひび割れに影響する要因のうち、水セメント比、乾燥開始材齢、拘束度を取上げ、拘束収縮ひび割れ試験を行い、各要因がひび割れ発生日数に及ぼす影響や、引張伸び能力がひび割れ発生の限界ひずみとして適用できる可能性があることを示した。

今後は乾燥収縮ひび割れに影響する他の要因についても実験を行い、データの蓄積あるいは層別化により精度の良い予測式を得ることのほか、実際の構造物における引張伸び能力の適用性などについて検討を行っていく予定である。

謝辞：本研究を実施するにあたり型枠を作製して頂いた東京大学生産技術研究所・試作工場の方々に感謝致します。

(1997年3月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 森永繁：ひび割れ制御技術の現状—対策と効果—，コンクリート工学，Vol. 34, No. 8, pp. 13-20, 1996. 8
- 2) ひび割れ研究会：コンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法の標準化とその適用性に関する研究（その4），セメントコンクリート，No. 536, pp. 62-71, 1991. 10
- 3) 日本コンクリート工学協会自己収縮研究委員会報告，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18, No. 1, pp. 29-38, 1996