

論文 ひび割れ誘発目地の構造に関する研究

森本博昭*1・児嶋保明*2・小柳 洽*1

要旨：ひび割れ誘発目地を施工する際、目地板の種類、寸法および配置などは種々の形式のものが採用されている。しかし、これらがひび割れ制御効果におよぼす影響についての総合的な検討は十分に行われていないのが現状である。本研究は、ドーナツ型の鋼製拘束型枠を用いて、目地の構造とひび割れ制御効果の関係を解析的および実験的に明らかにし、合理的な目地設計の基礎資料を得ようとするものである。

キーワード：ひび割れ誘発目地、温度ひび割れ、応力集中度

1. はじめに^{1) 2)}

マスコンクリート構造物に発生する温度ひび割れの制御対策を計画する場合、材料、配合、施工および設計面からの総合的な検討が必要である。温度ひび割れを完全に防止することが困難な場合は、構造物の機能を損なわない範囲内にひび割れ位置および幅を計画的に制御する対策がとられる。

ひび割れ位置の制御は、ひび割れをある特定断面に集中させることによりその他の個所への発生を防止して、構造物全体についてのひび割れに対する要求レベルを満足させようとするものである。ひび割れ位置を制御する具体的な手段として、一般的にひび割れ誘発目地が用いられる。ひび割れを確実に目地部分に集中させるためには、目地の構造ならびに目地間隔の選定が重要となる。このうち目地の構造については、目地による断面の欠損率および目地板の種類、寸法およびこれらの配置方法が重要なポイントとなる。土木学会コンクリート標準示方書では断面欠損率を20~30%以上とすることが推奨されているが、実施工では多くの場合40%以上で設計されているようである。一方、目地板の種類、寸法および配置（以下、目地仕様と

いう）については、示方書では施工例が示されているだけで、これに関する具体的な指針は示されていない。このため現在、種々の形式の目地仕様が用いられているが、目地仕様ひび割れ制御効果におよぼす影響についての総合的な検討は十分になされていないのが現状である。

本研究はドーナツ型の鋼製拘束型枠を用いて、目地仕様がひび割れ制御効果におよぼす影響を解析的および実験的に検討し、合理的な目地仕様設計の基礎資料を得ようとするものである。

2. 目地仕様と応力集中度

2.1 解析モデル

2次元FEM弾性解析により目地板の寸法と配置が応力分布（応力集中性状）におよぼす影響を検討した。目地仕様の解析モデルについては、図-1に示すように中央に誘発目地を設定した100cm×100cmの2次元モデルとした。目地部は図-2に示すように断面欠損率を50%とし、表面には上底4cm、下底5cm、深さ5cmの台形の化粧目地を配置した。目地板の寸法および目地板相互の間隔は4種類とした。Aシリーズでは幅20cmの目地板を2ヶ所

*1 岐阜大学教授 工学部土木工学科 工博（正会員）

*2 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻（正会員）

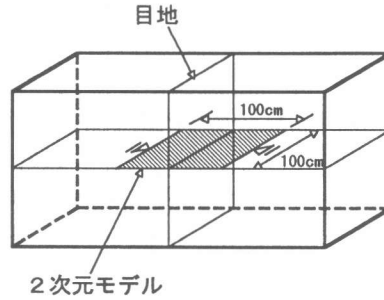


図-1 2次元モデル

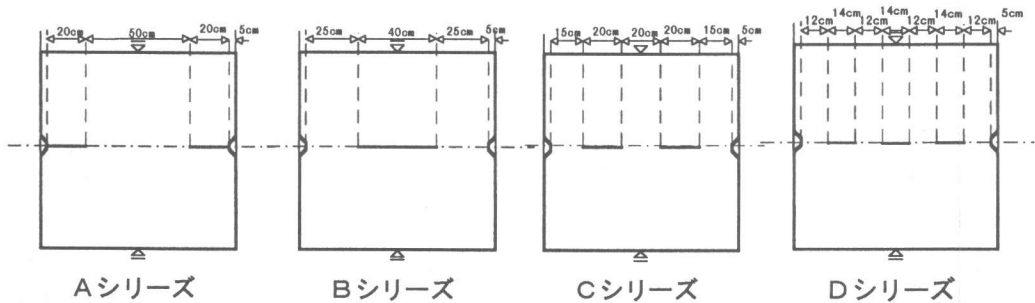


図-2 解析モデル

の化粧目地のすぐ内側に設定した。目地板間(コンクリート部分)の距離は50cmとなる。Bシリーズでは断面の中央部に幅40cmの目地板を1枚配置した。目地板間の距離は25cmである。Cシリーズでは幅20cmの目地板を2枚配置した。目地板間の距離は20cmである。Dシリーズでは幅14cmの目地板を3枚配置した。本ケースでの目地板間距離は12cmとなる。いずれのシリーズの目地板設置も実施工で多く採用されているものである。

2. 2 解析条件

要素分割は、目地板上は2cmきざみ、他は1cmきざみの分割幅とした。一例として、図-3にAシリーズの要素分割図を示す。応力解析で用いたコンクリートの弾性係数は 30kN/mm^2 、ポアソン比は0.16、熱膨張係数は $10 \times 10^{-6}/\text{°C}$ とした。目地部分は近似的に空

隙と考えた。解析はコンクリート部分の温度が 1°C 降下したときの温度応力について実施した。

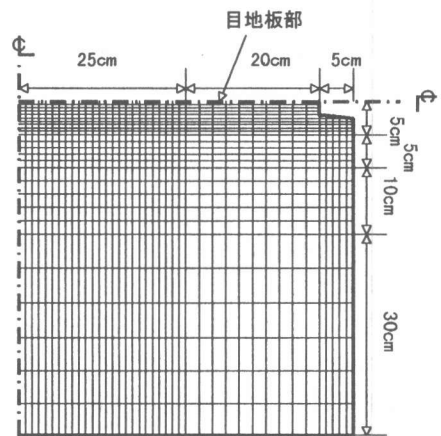


図-3 要素分割図 (Aシリーズ)

3. 解析結果

応力解析で得られた各シリーズの目地板間における応力集中性状を図-4に示す。本研究では、目地のひび割れ誘発性能に影響すると考えられる目地板先端付近の最大応力すなわち局部的応力集中度と目地板間の平均応力すなわち平均的応力集中度について検討を行った。なお、解析モデルの平均応力は全ケースとも 0.3 N/mm^2 である。

3.1 局部的応力集中度

図-4の各図より、全ケースとも目地板の先端と化粧目地部に応力が集中していることがわかる。目地板先端の最大応力はA, B, C, Dシリーズそれぞれ $1.8, 1.7, 1.5, 1.4 \text{ N/mm}^2$ となった。局部的応力集中度はAシリーズでは 5.9 , Bシリーズでは 5.7 , Cシリーズでは 5.1 , Dシリーズでは 4.7 となり、Aシリーズが最も

大きく、次いでB, C, Dシリーズの順となった。局部的応力集中度は目地板が近づくとき小さくなる傾向を示した。

3.2 目地板間の平均応力集中度

目地板間の平均応力は、ひび割れ誘発に影響する領域（目地板間×化粧目地の厚さ 5 cm ）の応力を平均したものである。目地板間の平均応力はA, B, C, Dシリーズそれぞれ $0.42, 0.48, 0.54, 0.57 \text{ N/mm}^2$ となった。これらから、目地板間の平均応力集中度はAシリーズでは 1.4 , Bシリーズでは 1.6 , Cシリーズでは 1.8 , Dシリーズでは 1.9 となり、C, Dシリーズがほぼ同程度で、次いでB, Aシリーズの順となった。このことから、目地板間の平均応力集中度は局部的応力集中度とは反対に目地板間隔が狭くなるにともない大きくなる傾向を示した。

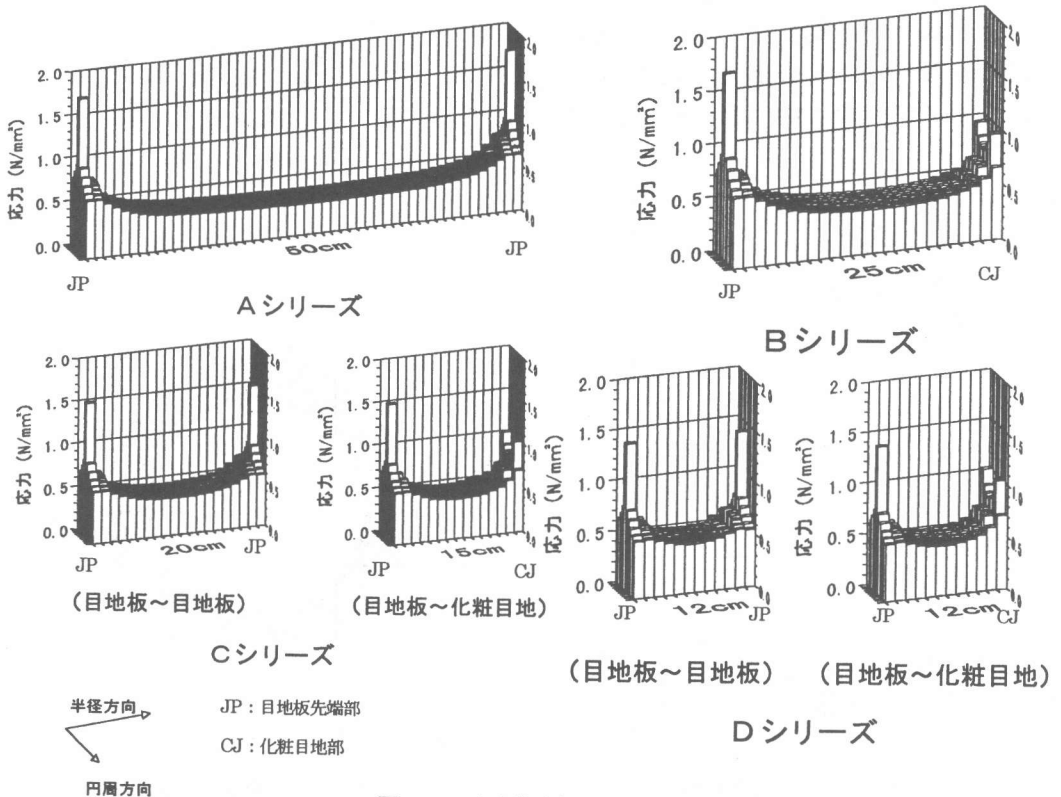


図-4 応力集中性状

4. 実験概要

4.1 ドーナツ型拘束型枠

解析で得られた結果を実験的に検討するため、図-5に示すように内径30cm、外径50cm、高さ5cmのドーナツ型の鋼製拘束型枠を用いたひび割れ実験を行った。ドーナツ型のコンクリート供試体が収縮すると、内径の鋼製リングにより収縮が拘束され、供試体円周方向にほぼ一様な引張応力が発生する。このため、半径方向に目地板を配置すれば解析モデルとほぼ同様の応力集中場が再現できる。図-6はコンクリートの弾性係数を 30kN/mm^2 、収縮ひずみを 100μ とした時の円周方向応力のFEM解析結果である。図から、円周方向応力は、内径側と外径側で平均応力の約25%程度の応力差が生じている。供試体の径をさらに大きくすれば応力差を小さくすることもできるが、供試体の取り扱いなど実験実施上これ以上大きくすることは困難であったので、本研究では図-5に示した供試体寸法を採用した。なお、FEM弾性解析から求めた供試体円周方向の平均引張応力は、ひずみを完全に拘束した場合の応力の約0.6倍である。

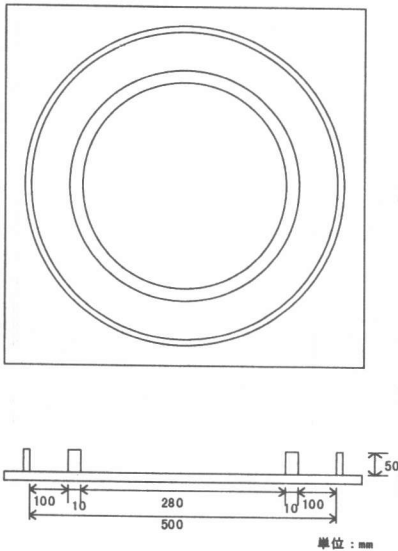


図-5 ドーナツ型拘束型枠

4.2 供試体

図-7に示すように、ドーナツ型供試体の4個所に、解析で検討した4種類の目地を1/10に縮小したものを設けた。目地板には厚さ3mmのベニヤ合板を用いた。供試体の収縮については、乾燥収縮により発生させた。リングにできるだけ均一な乾燥収縮を発生させるため、脱型後直ちに供試体の外周面に防水スプレーを塗布し、さらにその上からアルミテープでシールを行った。これにより乾燥面は上面および下面のみに限定されることになる。材齢1日で各供試体の脱型を行った後、室温 $20\pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度約60%に保たれた恒温室で実験を行った。実験は3回行い、供試体は計13体作製した。

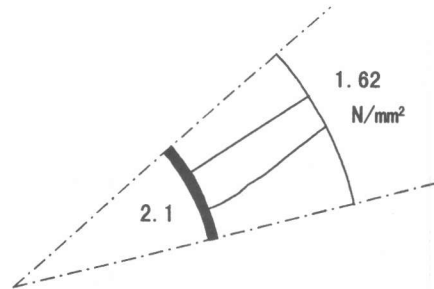


図-6 応力分布図

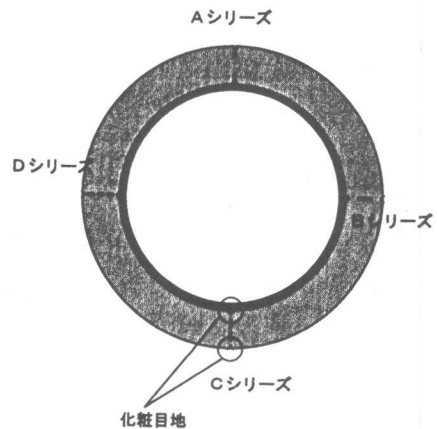


図-7 目地板の配置

4. 3 配合

セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。コンクリートの配合は表-1に示すように富配合で単位水量を大きくし、乾燥収縮が大きくなるように配慮した。20℃の湿潤養生を行った供試体コンクリートの材齢 28 日の圧縮強度は 26N/mm²、引張強度は 2.4N/mm² 前後、そして弾性係数は 23kN/mm² 前後であった。

5. 実験結果

5. 1 ひび割れ発生状況

表-2にひび割れ発生位置と材齢を示す。ひび割れが発生した目地仕様はA、CおよびD

表-1 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位置 (kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
10	65	50	222	342	826	829

表-2 ひび割れ発生位置と材齢

実験	供試体	A	B	C	D
第1回	No. 1			9日	
	No. 2			9日	
	No. 3				9日
	No. 4			11日	
	No. 5			11日	
第2回	No. 6				6日
	No. 7				7日
	No. 8				8日
第3回	No. 9			5日	
	No. 10				5日
	No. 11			6日	
	No. 12	6日			
	No. 13	6日			
合計		2体	0体	6体	5体

であった。それぞれのひび割れ発生状況を写真-1~3に示す。いずれのひび割れもほぼ目地板に沿って発生した。ひび割れ確認時点でひび割れは断面を貫通しており、ひび割れは発生から1日以内で全断面に進展したと考えられる。ひび割れは材齢 5~11 日で発生し、ひび割れ発生時の圧縮強度は 13~17N/mm²、引張強度は 1.4~2.2N/mm²、弾性係数は 15~18kN/mm² であった。図-8は、無拘束の角供試体 10×10×40cm を用いたコンクリートの乾燥収縮試験結果である。ひび割れが発生した材齢 5~11 日の乾燥収縮ひずみは約 200μ程度であった。ただし、ドーナツ型供試体の断面は 5×10cm であるので、ひび割れ発生時にはこれより更に大きな乾燥収縮ひずみが発生していたと考えられる。

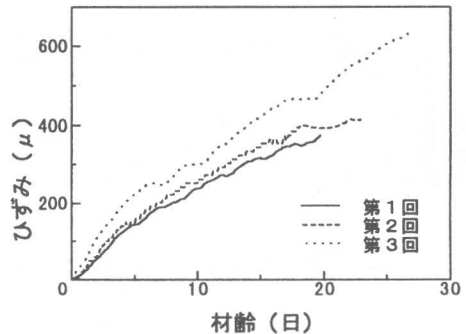


図-8 ひずみの経時変化

5. 2 ひび割れ制御効果と目地仕様

実験結果から、目地板先端の応力集中が最も大きくなるAシリーズでひび割れが発生したのは13体中2体(15%)であった。すなわち局所的な応力集中が最も大きいものが必ずしも最もひび割れを誘発しやすいとは言えない結果が得られた。最も多くひび割れを誘発した目地仕様はCシリーズの6体(46%)で、その次はDシリーズの5体(38%)であった。C、Dシリーズそれぞれの局所的応力集中度はAシリーズに比べて小さいが、目地板間のコンクリート部分の平均的応力集中度は1.9および1.8とAシリーズの1.4に比べて大きく、従って目

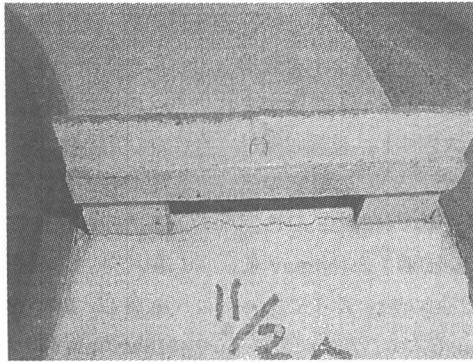


写真-1 ひび割れ発生状況 (Aシリーズ)

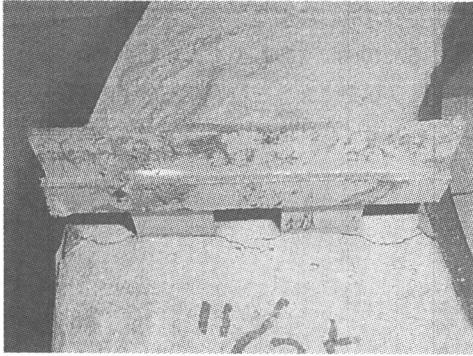


写真-2 ひび割れ発生状況 (Cシリーズ)

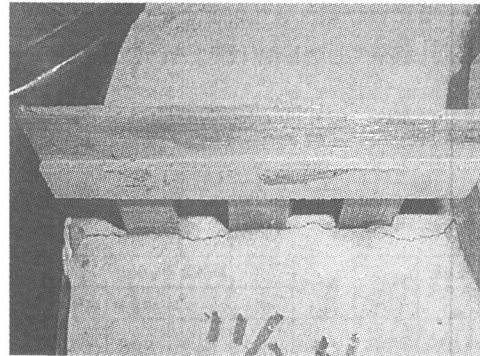


写真-3 ひび割れ発生状況 (Dシリーズ)

地のひび割れの誘発性能は局部的応力集中度に加えてコンクリート部分の平均的応力集中度にも大きく影響を受けるものと考えられる。今回の実験ではBシリーズの目地には全くひび割れが発生しなかった。Bシリーズの応力集中度は局部的にも平均的にも全シリーズの中間に位置するものである。このことは、視点を変えれば、いずれの応力集中度も最も大きくならなかったことになり、これがひび割れを全く誘発しなかった原因とも考えることができる。しかし、本研究での実験数では明確に判断を下すことは困難であり、今後さらにデータを蓄積していくことが必要である。

6. まとめ

本研究では、ドーナツ型鋼製型枠を用いて目

地板の寸法と配置がひび割れ誘発性能におよぼす影響を検討した。その結果、断面欠損率が同一でも目地板の寸法と配置により、ひび割れ誘発性能に大きな差異が生じることが確認できた。ひび割れ誘発性能には目地板先端部の局部的応力集中度に加えてコンクリート部分の平均的応力集中度に大きく影響されることが明らかとなった。

参考文献

- 1) J C I ひび割れ調査委員会：マスコンクリートのひび割れ制御指針，J C I，pp19～24，1986
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書【平成8年度版】・施工編，土木学会，pp104～105,181，1996