

乾燥収縮ひび割れ発生に及ぼす拘束の形態の影響

Effect of Various Types of Restraint on Drying Shrinkage Cracking

大野俊夫*・魚本健人*

Toshio OHNO and Taketo UOMOTO

1. はじめに

コンクリートのひび割れは有害物質の浸入や水の出入り、析出物の滲出を容易にするため、耐久性や漏水、美観の観点から望ましくない場合がある。

これまで、コンクリートのひび割れに関して多くの研究者によって実験的、解析的検討がなされてきており、ひび割れの発生しやすい材料、配合条件や環境条件、施工条件などが報告されている^{1, 2)}。しかしながら、実際の構造物のひび割れ発生を精度よく予測するまでに至っていないのが現状である³⁾。これは、ひび割れ発生の限界点が明確になっていないことや、実構造物の施工、環境条件が複雑であること、コンクリートの物性値が刻々と変化することが考えられている。

ひび割れの発生しやすさを評価する試験方法として、JIS 原案「コンクリートのひび割れ試験方法—乾燥収縮ひび割れ・温度ひび割れ—」があるが、実構造物における拘束の形態は一軸の拘束状態であることが少ないのが現状である。そこで、JIS 原案の一軸拘束試験体のほか、壁状構造物を模して底版で拘束を受ける試験体、開口部を模して4周囲から拘束を受ける試験体を取上げ、これらの拘束の形態がコンクリートの乾燥収縮ひび割れ発生に及ぼす影響について実験的検討を行ったものである。

2. 実験概要

2.1 試験体の種類

表1に試験体の種類を、図1に試験体の形状寸法を示す。試験体はコンクリートの両側に軽みぞ形鋼を配した JIS 原案の一軸拘束試験体のほか、I 形鋼やみぞ形鋼の上部にコンクリートを打設した底版拘束試験体、I 形鋼やみぞ形鋼で周囲を囲んだ内側にコンクリートを打設した4周囲拘束試験体を取上げた。コンクリートの断面はいずれも

100 × 100 mm とし、一軸拘束試験体では底版拘束試験体、4周囲拘束試験体と乾燥面数を同一（3面乾燥）とするため、1面に柔軟型エポキシ樹脂を塗布し、シールを施した。

2.2 配合

表2にコンクリートの配合及び使用材料を示す。コンクリートのひび割れは水セメント比が30%以下の場合、50～60%に比べて早く発生することが報告されており^{2, 4)}、ここでは試験期間の関係から水セメント比30%のコンクリートを採用した。

2.3 試験項目

a. 拘束収縮、自由収縮

各種拘束試験体の収縮ひずみ（拘束収縮ひずみ）の測定は、脱型時（材齢7日）にコンクリート表面にコンタクトチップを検長100 mmで貼り、以後、1から2日おきにコンタクトストレインゲージ（精度：0.001 mm）により測定した。

拘束鋼材のひずみは軽みぞ形鋼、みぞ形鋼、I形鋼ともに部材の重心位置にひずみゲージを貼り、コンクリートの始発以後、コンクリートに貫通ひび割れが発生するまで、3時間ごとに自動計測した。

自由収縮ひずみは100 × 100 × 400 mmの試験体を用

表1 試験体の種類

記号	拘束の形態	拘束鋼材の種類	拘束鋼材の断面積 (mm ²)	拘束材比 (%)	試験体数
UA-LD	一軸	軽みぞ形鋼	1030	10.3	3
1B-I	底版	I形鋼	3238	32.4	2
1B-D	"	みぞ形鋼	1104	11.0	"
4B-I	4周囲	I形鋼	3024	30.2	"
4B-D	"	みぞ形鋼	1119	11.2	"

UA: 一軸拘束, 1B: 底版拘束, 4B: 4周囲拘束,
LD: 軽みぞ形鋼, I: I形鋼, D: みぞ形鋼を意味する
拘束板断面積: 各試験条件ごとの実測値の平均

*東京大学生産技術研究所 第5部

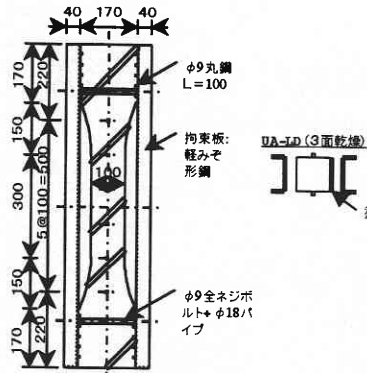
表 2 配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (Kg/m ³)				
		W	C	S	G	Ad.
30	37.6	167	557	604	1030	2.785

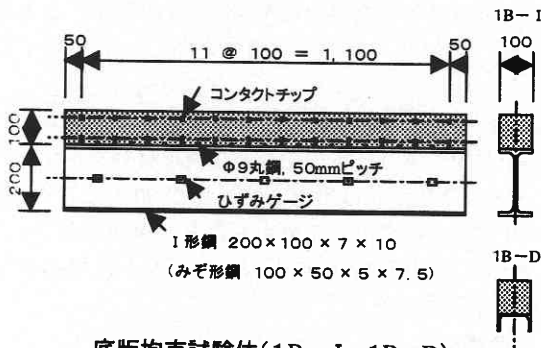
C: 普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm³、
比表面積3.270cm²/g)
S: 富士川産川砂(比重2.63、吸水率2.01%、粗粒率2.75)
G: 両神産砂岩碎石(比重2.70、MS20mm、粗粒率6.66)
Ad.: ポリカルボン酸塩系高性能AE減水剤

表 3 物性試験結果

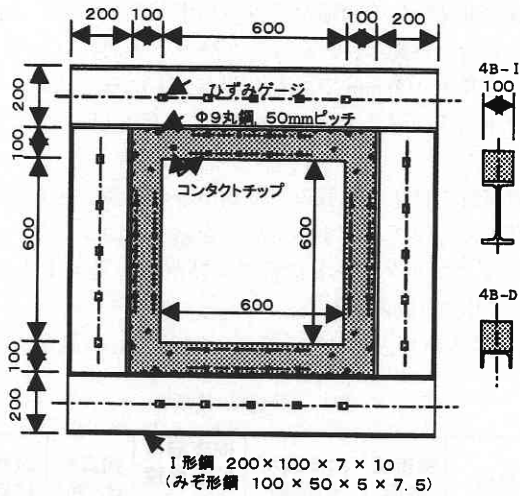
記号	スラブ (cm)	フレッシュ			材齢28日(水中養生)	
		空気量 (%)	温度 (°C)	始発時間 (h-m)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)
UA-LD, 1B-I	14. 0	4. 4	22. 7	4-55	70. 8	3. 73
1B-D, 4B-D	12. 5	5. 1	19. 7	5-37	66. 4	3. 67
4B-I	14. 5	5. 2	20. 4	6-08	68. 9	3. 85



一軸拘束試験体(UA-LD)



底板拘束試験体(1B-I, 1B-D)



4 底板拘束試験体(4B-I, 4B-D)

図 1 試験体の形状寸法

い、材齢7日までの湿潤養生期間は日本コンクリート工学協会「自己収縮研究委員会」の方法に準拠して測定し、乾燥開始後は JIS A 1129「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に準拠して測定した。

b. 強度試験

圧縮強度、静弾性係数試験(φ100×200mm)、割裂引張強度試験(φ150×200mm)は材齢7日(乾燥開始材齢)、及び、拘束試験体の最初の試験体と最後の試験体に貫通ひび割れが確認された材齢において実施した。なお、供試体は拘束試験体、自由試験体と同一の養生条件下に静置した。

2.4 試験体の作製方法

コンクリートは各実験ケースごとに水平強制練りミキサにより練混ぜ、フレッシュコンクリートに関する試験を行った後、各種試験体を作製した。試験体作製後、乾燥開始までの期間、湿潤状態のむしろ中に静置し、材齢7日にて温度21.0±1.58°C、湿度62±5R.H.%の養生室に移動して、乾燥条件下に曝した。

3. 実験結果及び考察

3.1 物性試験結果

表-3に実験ケースごとに実施した物性試験の結果を、図-2に自由収縮ひずみの履歴を示す。フレッシュ時の試験結果は実験ケース間で若干の差が見られ、また自由収縮ひずみは材齢60日で最大約70×10⁻⁶の差が生じていることが分かる。本来、同一配合、同一養生条件であり、同一のフレッシュ性状、自由収縮ひずみとなるはずであるが、この程度のばらつきが認められた。

3.2 ひび割れ観察結果

図-3に拘束試験体に生じたひび割れの観察結果の例を示す。乾燥開始後、部材断面を貫通するひび割れが生じた試験体は、一軸拘束試験体(UA-LD)、底板拘束試験体(1B-I)、4周囲拘束試験体(4B-D)の3種類の全ての試験体であり、4周囲拘束で拘束の大きな試験体(4B-I)

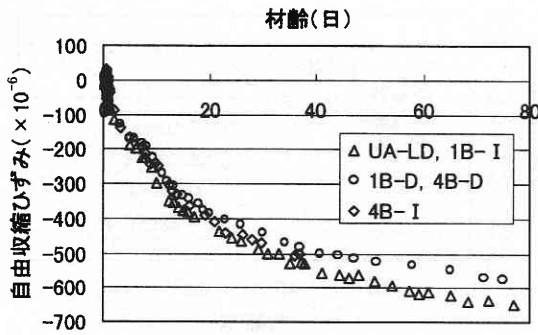


図2 自由収縮ひずみの履歴

表4 貫通ひび割れ発生材齢

記号	1	2	3	平均
UA-LD	12.3	12.0	15.0	13.1
1B-I	56.0	48.0	-	52.0
4B-D	12.7	11.5	-	12.1

は貫通ひび割れの確認ができないまま、隅角部でコンクリートと鋼材が剥がれた。

一軸拘束試験体では微細ひび割れが目視観察されることなく貫通ひび割れが発生したが、底版拘束試験体 (1B-I) では上端部の3~4個所に微細ひび割れが確認された十数日後、そのうちの一本が貫通ひび割れに進展した。

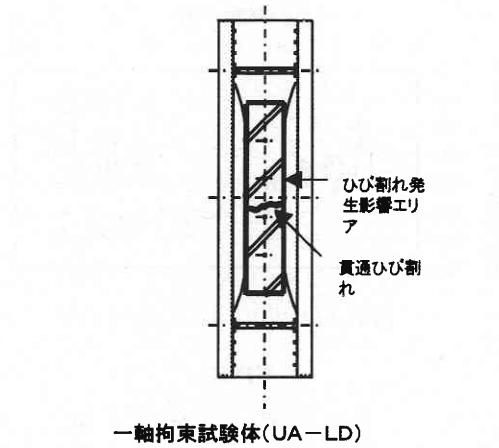
貫通ひび割れが発生した各試験体とも、ひび割れ発生前後でひずみが大きく変動した部位が認められた。図-3中に変動した範囲を示す。この範囲はひび割れの発生に影響を与えていると思われる。一軸拘束では全測定区間、底版拘束試験体では上部の貫通ひび割れ部の前後20cm、下部のひび割れ部であり、4周囲拘束試験体ではひび割れが発生した隅角部のほか、隣接する2辺の上部の範囲であった。

3.3 ひび割れ発生材齢

表-4に貫通ひび割れが発生した材齢を示す。ほぼ同一の拘束鋼材比である一軸拘束 (UA-LD) と4周囲拘束試験体 (4B-D) の平均ひび割れ発生材齢は13.1及び12.1日であり、ほぼ同一時期にひび割れが発生している。これに対し、底版拘束試験体 (1B-D) では70日を経過しても貫通ひび割れが確認されていない。また、これらに比べて拘束鋼材比の大きな底版拘束試験体 (1B-I) のひび割れ発生材齢は52.0日であり、拘束の形態によって大きくひび割れ発生材齢が異なるという結果となった。

3.4 拘束収縮ひずみ、拘束引張ひずみ

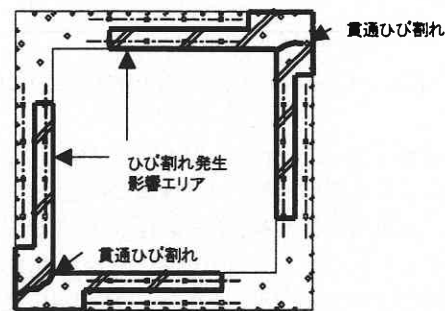
図-4に貫通ひび割れが発生した拘束試験体のコンクリートひずみ (拘束収縮ひずみ) の履歴例を示す。ここで、コンクリートひずみは図-3に示すひび割れ発生に影響す



一軸拘束試験体(UA-LD)



底版拘束試験体(1B-I)



4底版拘束試験体(4B-D)

図3 ひび割れ観察結果

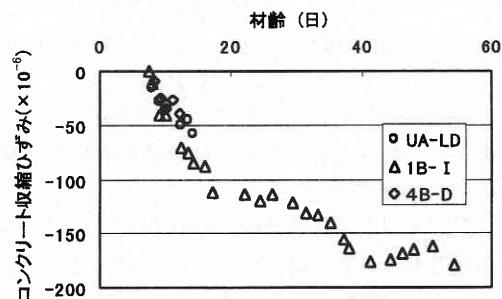


図4 拘束収縮ひずみの履歴

る範囲のひずみの平均値を示している。なお、4周囲拘束試験体ではひび割れ直角方向に換算して求めている。

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

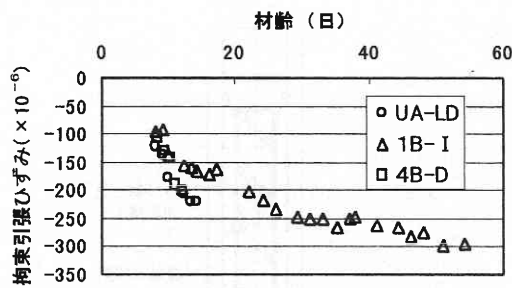


図5 拘束引張ひずみの履歴

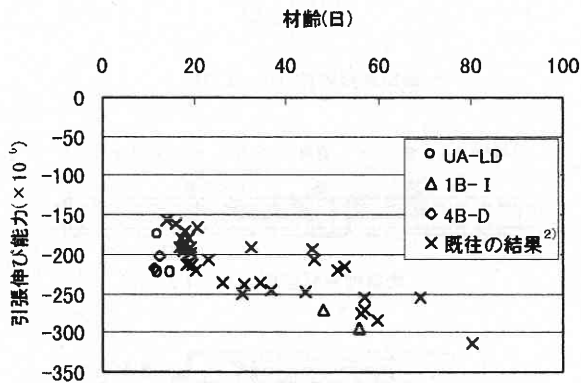


図6 ひび割れ発生材齢と引張伸び能力の関係

ひずみの履歴を図-5に示す。拘束引張ひずみは、拘束されたことによって変形できずに試験体に作用しているひずみであり、拘束引張ひずみが大きいほどひび割れが発生しやすいと考えられている。同図から、一軸拘束試験体 (UA-LD) と4周拘束試験体 (4B-D) の拘束引張ひずみは底版拘束試験体 (1B-I) に比べて大きくなっており、ひび割れの発生が早い傾向と一致している。

3.5 引張伸び能力

図-6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との関係を示す。なお、同図中には水セメント比60%を中心としてJIS原案に基づいて実施した実験結果²⁾を併せて示している。同図から、拘束の形態が異なった場合においても、ひび割れの発生材齢が遅くなるほど引張伸び能力が大きくなっている傾向がある。ただし、影響エリアを考慮せず、ひび割れ発生部のみから引張伸び能力を算定した場合は、その傾向が見られなかった。また、今回の実験による引張伸び能力は、既往の実験結果に比べて少し大きい傾向を示していることが分かる。これは水セメント比の違いが影響していることも考えられた。

3.6 収縮応力

図-7にひび割れ発生材齢と収縮応力比 (収縮応力/引

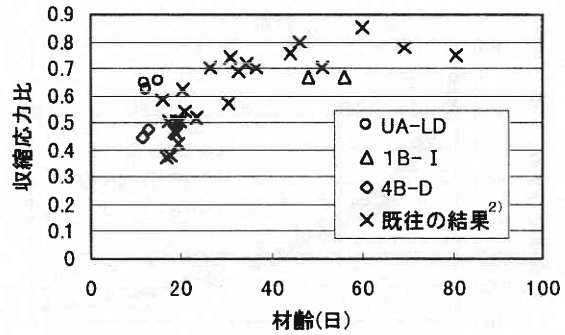


図7 ひび割れ発生材齢と収縮応力比の関係

張強度) との関係を示す。収縮応力は拘束鋼材に作用する圧縮力とコンクリートに作用する引張力の釣り合いから求めた。なお、拘束鋼材のひずみはひび割れ発生影響範囲内のひずみゲージの平均値より求めた。

同図から、収縮応力比は既往の実験結果と同様に、ひび割れ発生が遅いほど大きくなる傾向があることが分かる。また、微細ひび割れが発生した後、十数日経過後に貫通ひび割れが発生した底版拘束試験体では収縮応力比が小さいことが分かる。これは微細ひび割れの発生時に拘束鋼材のひずみが解放されたためと考えられる。

4. ま と め

乾燥収縮ひび割れの発生に及ぼす拘束の形態の影響を検討するため、JIS原案の一軸拘束試験体のほか、壁や開口を模した試験体について拘束ひび割れ試験を実施した。その結果、拘束の形態によって実拘束率が異なり、ひび割れ発生日数に影響を及ぼすこと、ひび割れ発生に影響する範囲があること、拘束の形態が変化しても引張伸び能力や収縮応力比はひび割れ発生材齢によって変化する傾向があることなどが明らかになった。

(1998年3月31日受理)

参 考 文 献

- 1) 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3)、セメントコンクリート, No. 534, pp.57-65, 1991.8.
- 2) 大野俊夫, 魚本健人：乾燥収縮ひび割れ発生時の引張伸び能力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19-1, pp.733-738, 1997.
- 3) 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.
- 4) 飛坂基夫ほか：コンクリートのひび割れ発生に及ぼす水セメント比の影響, セメント技術大会講演集, Vol.44, pp.782-787, 1990.