

論文 膨張コンクリートを用いた合成床版のケミカルプレストレスの評価

栖原 健太郎*1・神頭 峰磯*2・平井 吉彦*3・呉 承寧*4

要旨: 鋼材とコンクリートとで構成される鋼・コンクリート合成床版（以下、合成床版）のひび割れ抑制を目的として、膨張コンクリートを適用した場合の効果を実験的に検証し、その結果に基づき代表的な合成床版に応用する方法を検討した。管理用供試体の長さ変化率を基準として仕事量一定則の概念を適用することで合成床版内のケミカルプレストレスを評価できること、拘束の異なる代表的な合成床版を対象としてケーススタディを実施した結果、拘束の程度による差異はわずかであり、橋軸方向を基準として導入するケミカルプレストレスを安全側で評価・管理できることが明らかとなった。

キーワード: 合成床版, 膨張コンクリート, 仕事量一定則, ケミカルプレストレス

1. はじめに

床版下面を鋼板（以下、底鋼板）で覆い、コンクリートと一体化させた合成床版（以下、合成床版）は、拘束が強く、コンクリートの体積変化に起因するひび割れが発生しやすい構造を持つ。この用途のひび割れの抑制として、収縮補償の範囲で膨張コンクリートを使用するなどの対策が講じられている。膨張コンクリートによって合成床版のコンクリートに導入されるケミカルプレストレスは、底鋼板の拘束の程度に支配され、膨張コンクリートのひび割れ抑制効果について定量的に評価する手法の確立が求められている。

合成床版における膨張コンクリートのひび割れ抑制効果の検証を目的として、実際の合成床版を参考とした1.5m×1.5mモデルを用いて、膨張材の使用量を要因としたモデル実験を行った。また、実験結果から、合成床版のコンクリートに導入されるケミカルプレストレスを、膨張コンクリートの仕事量一定則の概念¹⁾を適用して定量的に評価・考察した。

2. 実験概要

(1) 供試体および実験水準

図-1に、実験で使用した供試体の形状寸法を示す。供試体は、使用実績が多いロビンソンタイプの合成床版とした。このタイプは、底鋼板にずれ止めのスタッドを溶接してコンクリートとの一体化を図ることを特徴としている。底鋼板は厚みが9mmである。橋軸直角方向に厚さが16mmのリップを4枚接合した。また、φ16mmで高さが200mmのスタッド筋を48本配置した。鉄筋は、橋軸方向にはD19を200mm間隔で9本、橋軸直角方向にはD22を125mm間隔で12本配置した。合成床版の厚

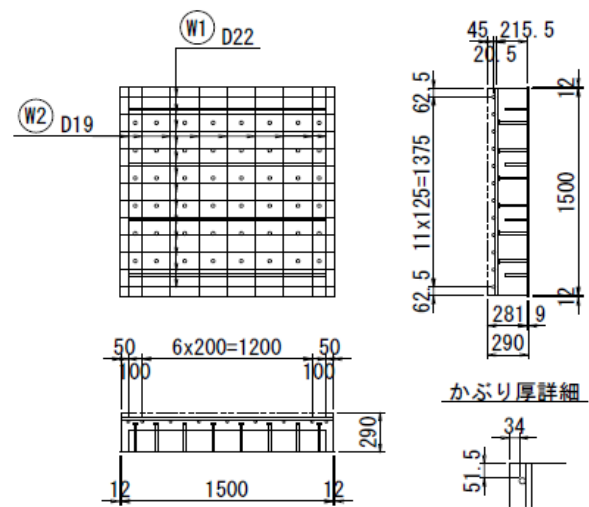


図-1 合成床版の供試体

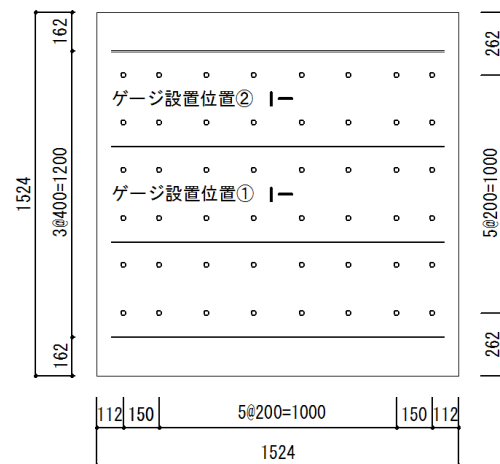


図-2 ゲージの設置位置

みは、底鋼板部を含めて280mmとした。また、現場での膨張コンクリートの管理評価には、一般的に運用され

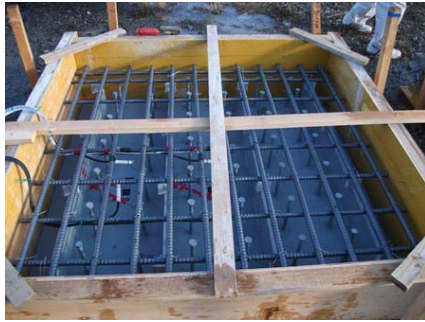
*1 電気化学工業株式会社 インフラソリューション開発研究所 博士（工学）（正会員）
 *2 日本車輛製造株式会社 輪機・インフラ本部 営業第二部 業務グループ（正会員）
 *3 電気化学工業株式会社 インフラ無機材料部門 特殊混和材部
 *4 愛知工業大学工学部 都市環境学科 土木工学専攻 博士（工学）（正会員）

表－1 実験水準およびコンクリートの配合と各性状

Case	W/C+Ex (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			フレッシュ性状			圧縮強度 (N/mm ²) *1	長さ変化率 (×10 ⁻⁶) *2
			W	C	Ex	スランプ (cm)	空気量 (%)	C.T. (°C)		
1	49.0	43.2	165	337	0	10.5	5.7	16	35.0	-32
2	49.0	43.2	165	317	20	10.0	5.7	16	35.9	120
3	49.0	43.2	165	312	25	10.0	5.3	16	34.5	185
4	49.0	43.2	165	307	30	8.0	4.3	18	35.5	314

*1 現場養生における材齢 28 日の圧縮強度

*2 JIS A 6202 附属書 2 の材齢 7 日の長さ変化率 (供試体は現場で採取)



写真－1 打込み前の供試体

ている JIS A 6202 附属書 2 の一軸拘束膨張試験 (以下, JIS 法) に加えて, JCI 規準 JCI-S-009-2012 「円筒型枠を用いた膨張コンクリートの拘束膨張試験方法」^{2),3)} (以下, SG 法) を併用した。

表－1 にコンクリートの配合を示す。実験水準は, エトリングait 石灰複合系の低添加型の膨張材の単位量として, 0, 20, 25, 30kg/m³ の 4 水準とした。セメントには, 普通セメントを, 骨材には砕石, 砕砂を用いた。コンクリートは 12 月に打込み, その後 6 ヶ月間の計測を行った。

(2) 測定項目

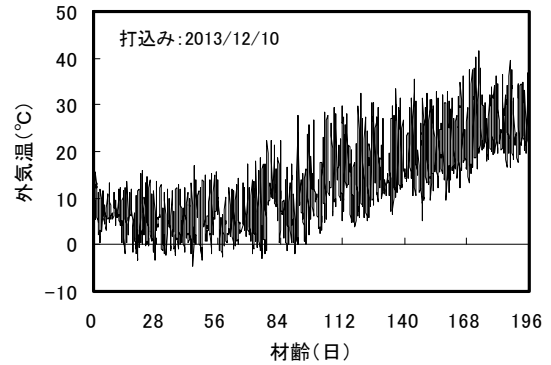
測定項目は, 底鋼板, コンクリートおよび鉄筋のひずみおよび温度とした。合成床版の底鋼板および鉄筋には, 基長が 6mm のワイヤストレインゲージ (以下, WSG) を, コンクリートには埋込型のひずみ計を用いて, それぞれのひずみを計測した。コンクリート内部の温度は熱電対を用いて計測した。

写真－1 に打込み前の供試体とゲージの設置状況を示す。ゲージの設置部位は, 図－2 に示す供試体の中央部 (図中の①) と, リブを挟んでその上部 (図中の②) の 2 カ所とした。それぞれの部位において, 底鋼板と鉄筋のそれぞれ橋軸方向と橋軸直角方向の 2 方向に WSG を貼付した。埋込型ひずみ計は, 高さ方向の中央位置に, それぞれ橋軸方向と橋軸直角方向に設置した。

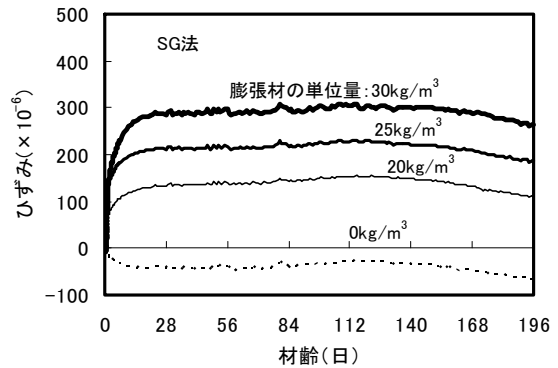
測定間隔は, 材齢 1 日までは 20 分毎に, 以降 2 時間毎とした。

(3) コンクリートの特性

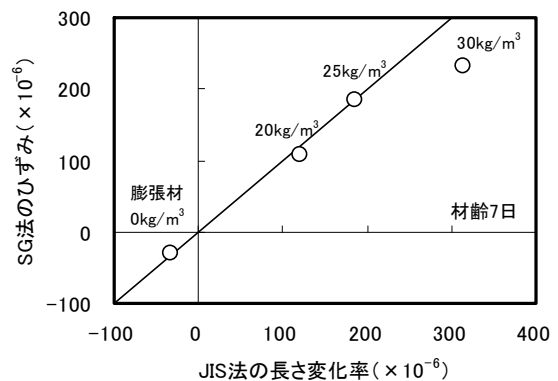
表－1 に, コンクリートのフレッシュ性状および力学



図－3 外気温の変動



図－4 SG法によるひずみ



図－5 JIS法とSG法の比較

特性を示す。冬季の打込みであったこともあり, 長さ変化率はやや小さめとなった。また, 圧縮強度は, いずれの水準も約 35N/mm² であった。

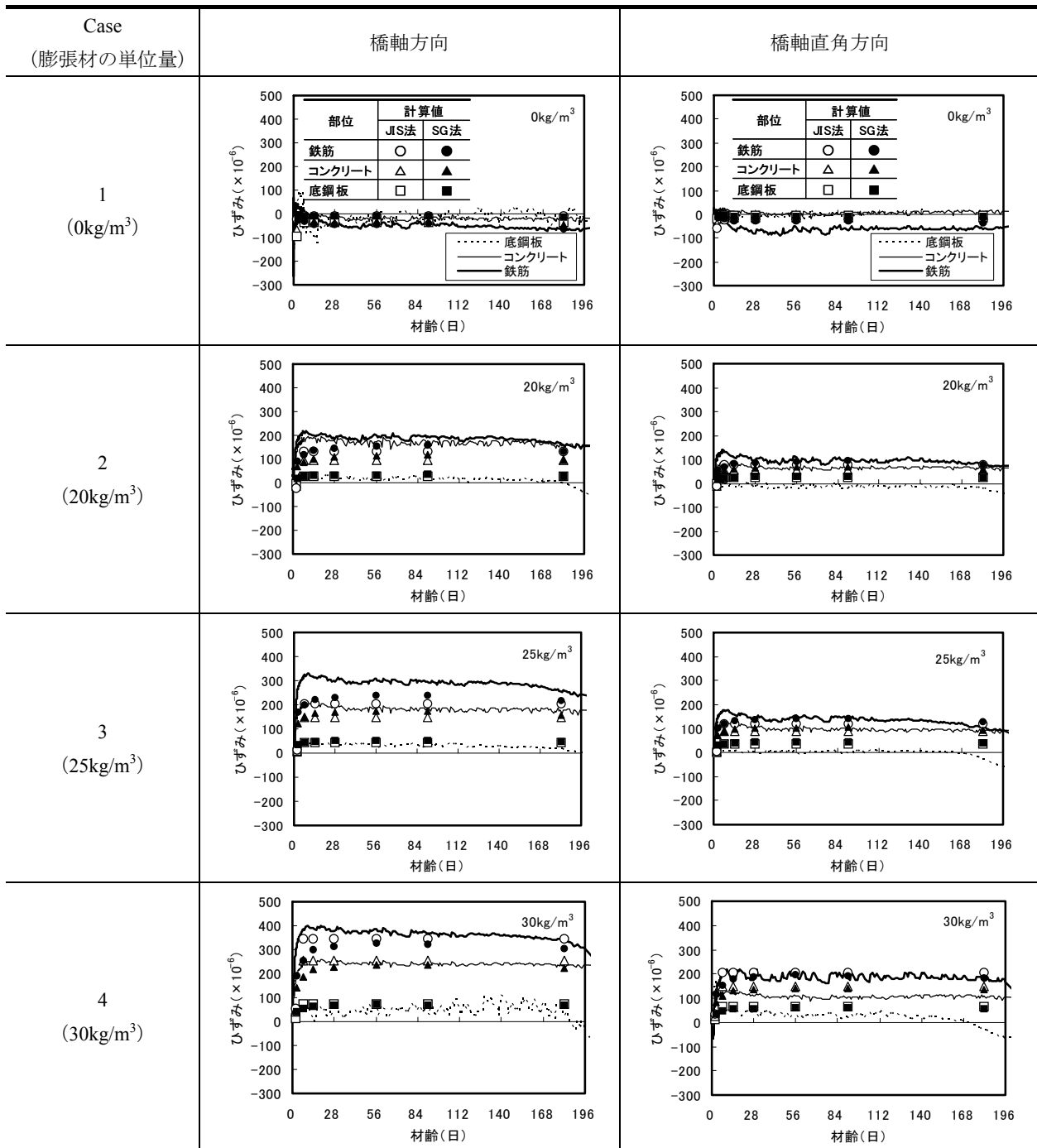


図-6 合成床版のひずみ

3. 実験結果の代表例

(1) 外気温

図-3に、計測場所の外気温の変動を示す。コンクリートの打込みから1ヶ月間は、平均気温が約7~10℃、日変動で-5~25℃であった。その後、半年後には25℃程度となった。

(2) SG法による膨張ひずみ

図-4に、SG法によるひずみの測定値を示す。膨張材の単位量に応じて膨張ひずみが大きくなることが確認できる。図-5は、材齢7日におけるSG法の測定値とJIS法の長さ変化率の関係を示す。現場に存置したSG法

の供試体は、現場封緘養生とした。一方のJIS法は、供試体採取の翌日後以降は環境試験室内での20℃の水中養生となり、水分供給を受け膨張ひずみが大きくなる。このことから、JIS法の測定値はSG法に比べて若干大きな膨張ひずみを示したが、概ね同様の傾向といえる。

(3) 合成床版のひずみ

図-6に、底鋼板、鉄筋およびコンクリートのひずみの経時変化を、橋軸方向と橋軸直角方向で整理した代表例を示す。底鋼板および鉄筋のひずみは貼付したWSGの測定値を、コンクリートのひずみは高さ方向の中央に埋設した埋込型ひずみ計の測定値である。また、後述す

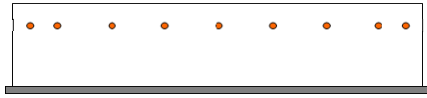
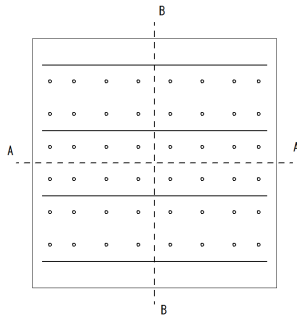
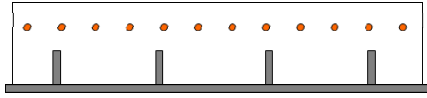
モデル	拘束体	解析モデル	
モデル V 橋軸方向 (A-A 断面)	D19 9 本	D19 	
モデル H 橋軸直角方向 (B-B 断面)	D22 12 本 リブあり	D22 	

図-7 解析モデル

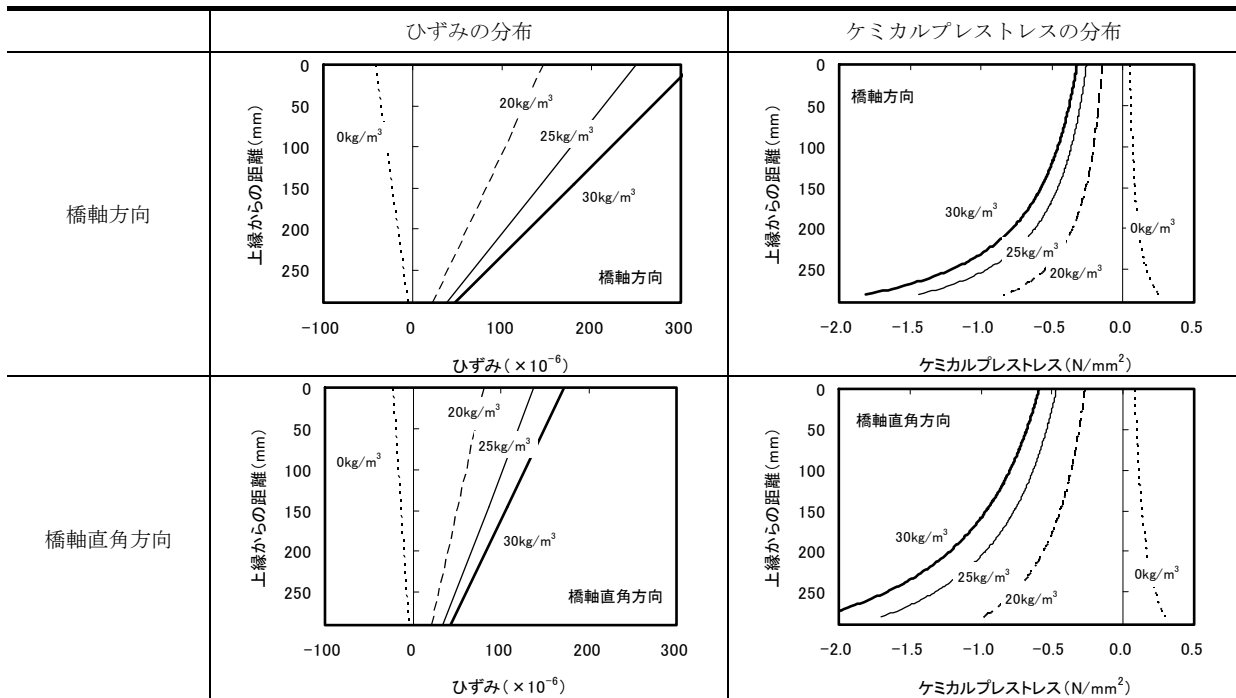


図-8 合成床版の断面内のひずみおよびケミカルプレストレスの分布

る仕事量一定則の概念による計算値を○, △, □印でそれぞれプロットした。なお, SG法の測定値を基準とした場合を塗りつぶしなし, JIS法のひずみを基準とした場合を塗りつぶしで表記した。

実験値において, 膨張材の使用量に応じて, 各部位のひずみが大きくなっている。膨張コンクリートを使用した供試体のひずみは, いずれも材齢7日程度まで膨張を示し, その後, ほぼ一樣の値となり, 膨張ひずみが長期にわたって導入されているといえる。なお, 橋軸方向と橋軸直角方向では, 鉄筋比の違いに加えて, リブの拘束の影響を受け拘束度の大きい橋軸直角方向のひずみが小さくなった。リブの拘束の影響については後述する。断面内のひずみの分布は, 拘束の大きい底鋼板の近傍ひずみが小さく, 底鋼板から離れた鉄筋のひずみが大きい結果を得た。

4. 合成床版に導入されたケミカルプレストレス

仕事量一定則の概念¹⁾および積層モデルによる断面

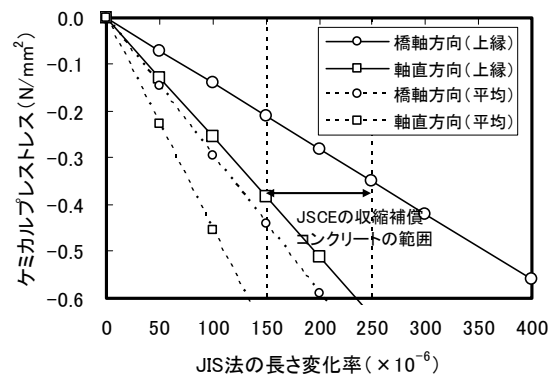


図-9 JIS法の長さ変化率と合成床版に導入されるケミカルプレストレス

解析⁴⁾により, 合成床版の断面内のひずみ分布, ケミカルプレストレス分布を試算した。解析モデルは, 前章の実験結果から図-7に示す2ケースを想定した。なお, 鋼材の弾性係数は, 実験値から213kN/mm²の値を用いた。

図-7に示すモデル V は, 橋軸方向の図-7の A-A

表-2 代表的なロビンソンタイプの合成床版の仕様例

ケース			A	B	C	D	E	F
床版厚 (mm)			290	260	220	220	210	200
主鉄筋の有効高さ (mm)			45	51	41	41	45	45
底鋼板厚 (mm)			9	8	9	8	8	8
リブ	サイズ	高さ (mm)	160	145	120	110	100	100
		幅 (mm)	16	13	12	12	12	12
ピッチ (mm)			513	625	620	650	620	615
鉄筋	主鉄筋	呼び名	D22	D22	D22	D22	D22	D22
		ピッチ (mm)	125	100	125	125	100	120
	配力鉄筋	呼び名	D19	D19	D19	D19	D19	D19
		ピッチ (mm)	200	200	200	200	200	200
鋼材の断面積比 (橋軸方向/橋軸直角方向) (%)			3.7/6.2	3.8/6.0	5.0/6.9	4.5/6.3	4.7/6.9	4.9/6.9

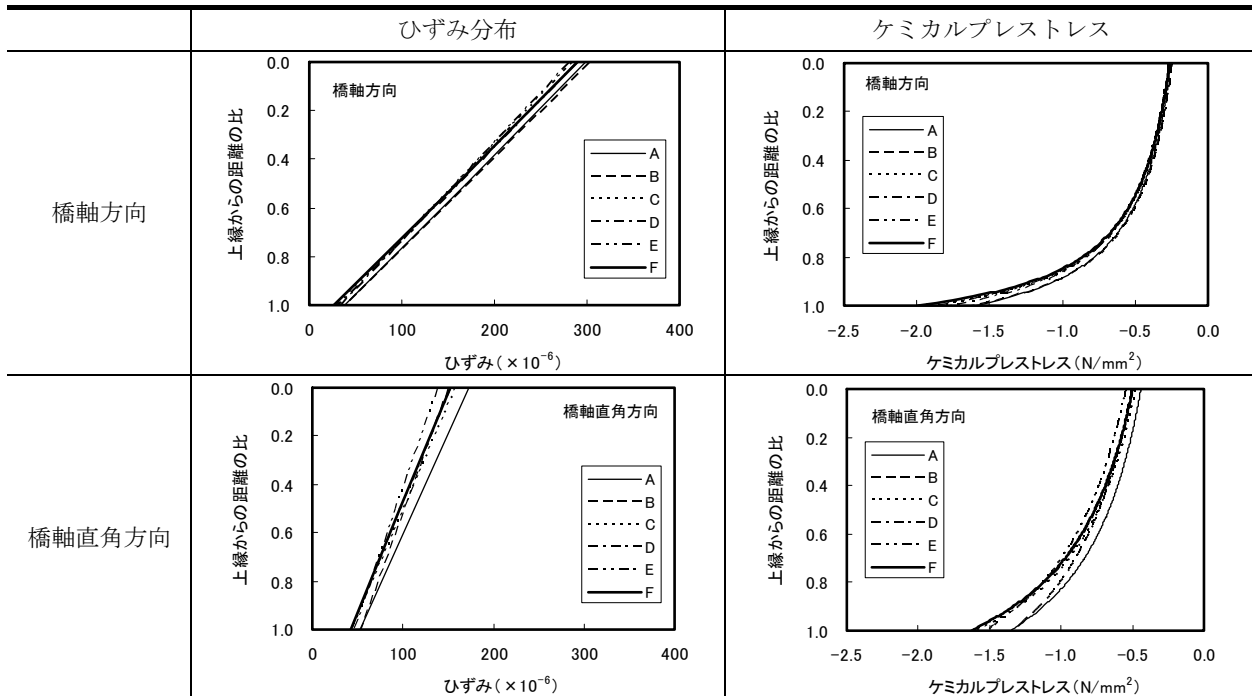


図-10 合成床版の断面内のひずみおよびケミカルプレストレスの分布

断面をモデル化したもので、拘束体は底鋼板および鉄筋となる。スタッド筋は橋軸方向の膨張を拘束するものではなく、底鋼板に力を伝達する機能を有するものと仮定した。

モデルHは、橋軸直角方向のB-B断面をモデル化したもので、リブは橋軸直角方向の膨張を拘束するため、これを加えてモデル化した。

図-6に仕事量一定則の概念による計算値を併記する。鉄筋のひずみにおいて、計算値は実験値に比べて小さい値を示しているものの、総じて、計算値は実験値の挙動傾向を安全側で評価できているといえる。

図-8は、材齢7日の膨張ひずみを基準として、仕事量一定則の概念から、断面内の長さ変化率(ケミカルプレ

ストレイン)とケミカルプレストレスの分布を試算したものである。図より、供試体の下縁では、底鋼板の拘束によりひずみは小さく、ケミカルプレストレスは大きい。上縁方向に向かって、その底鋼板の拘束の影響程度が小さくなり、ひずみは大きくなり、ケミカルプレストレスが小さくなる。また、橋軸方向は、リブの拘束がないため、橋軸直角方向に比べて、ひずみが大きく、ケミカルプレストレスが小さくなる結果となった。これらの傾向は、前章で述べた実験結果のひずみ分布とほぼ一致しており、合成床版においても仕事量一定則の概念を適用することで、膨張コンクリートの効果を定量的に評価することができるといえる。

図-9は、合成床版の上縁に導入されるケミカルプレ

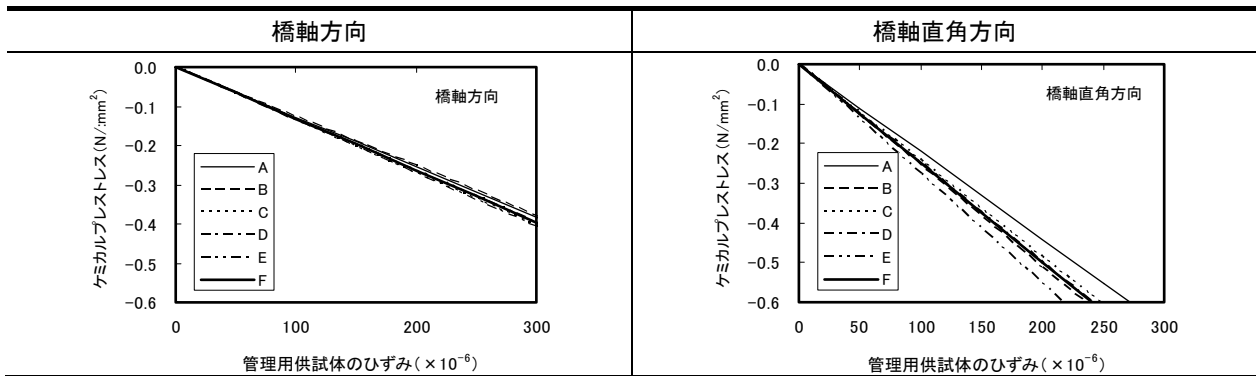


図-1-1 JIS法の長さ変化率と合成床版の上縁のケミカルプレストレス

ストレスと、合成床版の断面内のケミカルプレストレスの平均値を、JIS法の長さ変化率で整理したものである。目標とするケミカルプレストレスに対して、図-9から、膨張コンクリートに要求される長さ変化率が推定される。この長さ変化率を満足できる膨張材の単位量を試験練り等で事前に把握しておくことで、適切な膨張材の単位量を選定することができる。

5. 異なる合成床版の場合

これまでの実験結果から、膨張コンクリートを用いた合成床版のケミカルプレストレスは、仕事量一定則の概念を適用することで評価できることが明らかとなった。本章では、鋼材による拘束の異なる代表的なロビンソンタイプの合成床版について、上記手法を基に考察する。

表-2に示す拘束の程度の異なる代表的な合成床版について、膨張コンクリートのJIS法における長さ変化率が 200×10^{-6} と仮定して仕事量一定則の概念を適用し、合成床版に導入されるひずみにおけるケミカルプレストレスの断面分布を試算した。

図-10に試算結果を示す。橋軸方向では、ひずみ分布およびケミカルプレストレス分布ともに、ほぼ一本の線として捉えることができる。一方、リブの拘束の影響を受ける橋軸直角方向では、拘束の程度に応じて、ひずみ分布およびケミカルプレストレス分布にわずかな差がある。

図-11は、JIS法における長さ変化率と合成床版の上縁に導入されるケミカルプレストレスを整理したものである。図-11より、橋軸方向では、拘束の程度によるケミカルプレストレスの差異はわずかである。一方、橋軸直角方向では、拘束の程度に応じた差異が認められるが、橋軸直角方向は、橋軸方向に比べて拘束の程度が大きく、簡易的には橋軸方向を基準として導入するケミカルプレストレスを安全側で評価・管理することが可能といえる。なお、橋軸直角方向を検討対象とする場合には、拘束の程度や剛性の程度を考慮することが望ましいといえる。

6. まとめ

ロビンソンタイプの鋼・コンクリート合成床版のひび割れ抑制を目的として、膨張コンクリートを適用した場合のケミカルプレストレス量の定量化を実験的に検証した結果、以下の知見を得た。

- (1) 合成床版に膨張コンクリートを使用した場合、膨張材の使用量に応じて、導入できる膨張ひずみを制御できる。
- (2) 導入される膨張ひずみは、管理用供試体の長さ変化率(JIS法あるいはSG法)を基準として仕事量一定則の概念を適用することで評価・管理が可能である。
- (3) 仕事量一定則の概念を適用する場合、リブの影響を考慮する必要がある。
- (4) 仕事量一定則の概念に基づき、鋼材による拘束の異なる合成床版を対象としてケーススタディを実施した結果、拘束の程度による差異は認められるものの、その影響はわずかであり、橋軸方向を基準として導入するケミカルプレストレスを安全側で評価・管理することができる。

参考文献

- 1) 辻幸和：ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法，コンクリート工学，Vol.19，No.6，pp.99-105，1981.6
- 2) 辻埜真人，橋田浩，菊地俊文，田中博一：膨張材と石灰石骨材を併用した低収縮コンクリートに関する検討（その2 膨張コンクリートの品質管理方法）日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），A-1，pp.925-926，2010.9
- 3) JCI 規準：円筒型枠を用いた膨張コンクリートの拘束膨張試験方法，JCI-S-009-2012
- 4) 栖原健太郎，李春鶴，芦田公伸，辻幸和：膨張コンクリートを用いたCPCはりの曲げひび割れ幅の評価，コンクリート工学年次論文集，第31巻，No.2，pp.229-234，2009.7