

報告

[1086] 鋼橋床版への膨張コンクリートの適用効果に関する調査研究

正会員○庄谷征美（八戸工業大学工学部）

正会員 杉田修一（八戸工業大学工学部）

児玉勝彦（日本道路公団仙台工事事務所）

安斎康雄（日本道路公団仙台工事事務所）

1. はじめに

道路橋のRC床版の損傷対策は近年の道路橋維持の重要な課題であり、各機関において鋭意調査、研究が実施されてきた。その結果、床版の損傷の直接的原因としては従来喧伝されていた過荷重によるものは少く、むしろコンクリートの乾燥収縮、温度応力により生じた欠陥や、施工の不完全さに起因することが明らかにされている¹⁾。道路公団では、乾燥収縮による初びわれの低減を特にコンクリート床版の耐久性改善の方策として重視し、そのため既に、諫早ICランプ橋²⁾を初めとして4橋の床版に膨張コンクリートを適用し、その効果が調査された。ひびわれ防止に有用な膨張材単位量とその時点の膨張量、さらにはケミカルプレストレスの大きさも橋梁形式との関連で検討されている。東北自動車道八戸～一戸間の建設に伴い、寒冷地では初めての膨張コンクリート床版の試験施工が計画された³⁾。寒冷環境下に特有な床版損傷も懸念されるため、ひびわれ防止効果の確認も含め膨張コンクリートが床版の耐久性改善などの程度有効か知る必要があり、長期試験による追跡が計画されたのである。本報告は、岩手県九戸郡に建設された、同自動車道橋長170.0mの4径間連続鋼桁橋丸木橋上り線に打設された膨張コンクリート床版の3年半までの性状変化を同形式新井田橋の普通コンクリート（常用コンクリート）床版との対比を通して検討し、考察を加えたものである。

2. 使用コンクリートの品質と試験施工の概要

2・1 材料および配合： 床版コンクリートに用いたセメントは、普通ポルトランドセメントであり、細骨材は奥入瀬川産川砂（比重2.55，f.m.2.66）、粗骨材は最大寸法25mmの島守産輝緑岩碎石（比重2.94，f.m.7.00）を用いた。膨張材としてはCaOを主成分とする小野田エクспанを採用した。

表-1 示配合

コンクリートはAE減水コンクリートとし、配合は試し練りにより表-1のように決定されたが膨張材単位量は別の実験から収縮補償用として35kg/m³と選定された。

種別	Gmax (mm)	s ₂ ※ (cm)	air※ (%)	W/(C+E) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
						W	C	S	G	E	Admix
常用	2.5	11±1	5±0.5	54.0	42.0	162	300	752	1200	-	0.75○
膨張	2.5	11±1	5±0.5	54.7	42.0	164	265	750	1197	35	0.75●

Gmax：粗骨材最大寸法， W/(C+E)：水結合材比 ○：Pozz.No5L
E：単位膨張材量 ●：Pozz.No8
※：打込時 s₂8±2.5cm， air 4±1%， σ_{ck}=240kgf/cm²

2・2 コンクリートの品質：

フレッシュコンクリートの性質として、ブリージング率は常用コンクリートの2.52%に比べ、膨張コンクリートでは4.49%と2%程大きくなった。又、プロクター貫入試験による凝結時間では常用コンクリートの始発6時間4分、終結9時間20分に比べ膨張コンクリートでは7時間40分、10時間40分と1時間程遅れ、いずれも膨張材混和の影響が認められた。JIS B法により一軸拘

束膨張量を現場打設コンクリート（16時間現場密封養生後、20℃室内）および実験室内打設コンクリートについて調べたのが図-1である。前者は暑中打設で約1日で最大膨張に達しているが、最大膨張量は前者 220×10^{-6} 、後者 230×10^{-6} と大差なかった。硬化コンクリートの試験として材令14日より水中凍結融解方式による凍結融解試験を、清水中及び3%CaCl₂溶液中で実施した。膨張コンクリートでは耐久性指数はJIS A法による拘束下（ $p=0.93\%$ ）及び無拘束下ともに公団規定値70%を満足した。CaCl₂溶液中では拘束の有無に係わらず耐久性指数で80数%程度となり、清水中との差は大きく現れなかったが、常用コンクリートに比べ凍結融解抵抗性はやや劣る結果となった。50%R.H., 20℃室内での乾燥収縮、圧縮クリープの値は常用コンクリートの2/3程度の値であった。

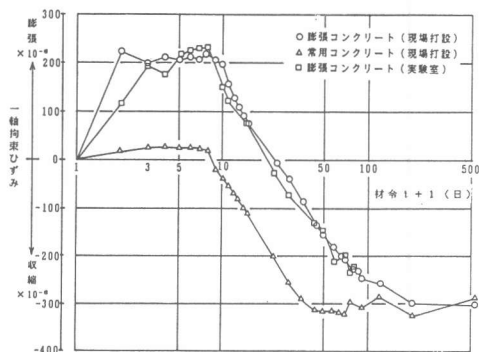


図-1 一軸拘束膨張～材令
 図-1は、一軸拘束膨張と収縮の経時変化を示すグラフである。縦軸は膨張・収縮量（単位： $\times 10^{-4}$ ）を示し、横軸は材令（日）を示す。三つのデータ系列が示されている：○は現場打設の膨張コンクリート、△は現場打設の常用コンクリート、□は実験室で打設した膨張コンクリートである。膨張コンクリートは約1日で最大膨張に達し、その後収縮を始める。常用コンクリートは膨張がほとんど見られず、乾燥収縮のみを示す。

2・3施工概要とゲージ位置：新井田橋の中間支点上常用コンクリート床版（B区間）は7月25日に打設、丸木橋膨張コンクリート床版は支間中央（A区間）8月1日、中間支点部（B区間）8月3日で、湿潤養生（膜養生および散水湿布養生）は常用コンクリートで5日、膨張コンクリートで7日間、型枠解体は以後7日を要した。AおよびB区間には図-2の丸木橋の平面図および断面図より分かるように多くの鉄筋計やコンクリートゲージが各方向に配置され、G3桁にはワイヤストレーンゲージが貼付された。ダミー版は、図-3のように900×900×230mmの寸法であり、鉄筋は周囲の9mm厚の鋼板に溶接或はボルト締めされている。

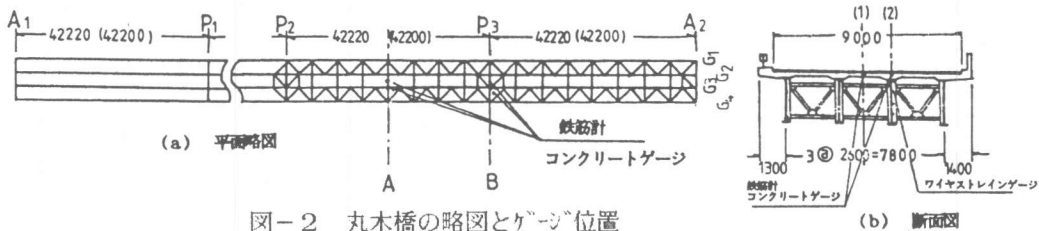


図-2 丸木橋の略図とゲージ位置

トで7日間、型枠解体は以後7日を要した。AおよびB区間には図-2の丸木橋の平面図および断面図より分かるように多くの鉄筋計やコンクリートゲージが各方向に配置され、G3桁にはワイヤストレーンゲージが貼付された。ダミー版は、図-3のように900×900×230mmの寸法であり、鉄筋は周囲の9mm厚の鋼板に溶接或はボルト締めされている。

2・4測定項目：

ダミー版および実橋床版、桁のひずみ測定、各非破壊調査、コア抜取試験さらに温度応力の影響を調べるための昼夜連続温度、ひずみ測定、さらに床版下面、上面のひびわれ幅、ひびわれ密度の測定が実施されている。

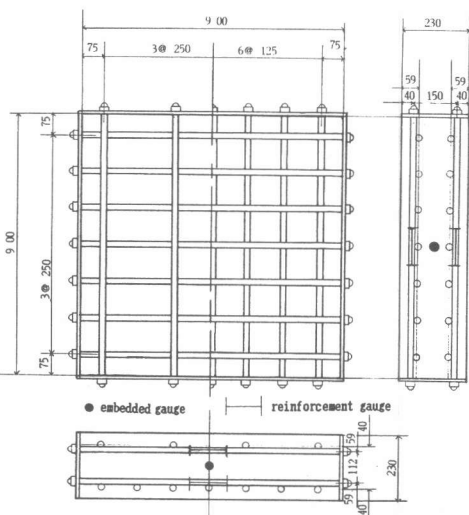


図-3 ダミー版の概略とゲージ位置

表-2 力学的性質の一覧

膨張コン	標準養生 供試体	コア抜き供試体										
		弾性係数 $\times 10^4$ kgf/cm ²				圧縮強度 kgf/cm ²				弾性係数 $\times 10^4$ kgf/cm ²		
		σ_7	σ_{28}	E7	E28	σ_{28}	σ_{91}	σ_{365}	σ_{1150}	E28	E91	E365
8/3打設 平均	#210 210	#200 281	22.3	24.0	—	—	—	—	—	—	—	—
ダミー版 打設コン	#198 189	#263 264	—	—	212	262	309	276 (320)	26.9	27.7	26.4	28.5 (30.9)
常用コンク リート	222	317	20.0	25.0	266	333	330	325 (322)	25.7	27.9	28.3	27.6 (30.0)

*: 拘束養生 (ポアソン比0.19)

() 内は、無筋コンクリート。

3. 調査結果と考察

3.1 コンクリートの力学的

性状:

表-2は、圧縮強度および静弾性係数の材令の経過に伴う変化を示している。長期データは全てダミー版のコアより求めたが、膨張コンクリートは σ_{28} で常用の約8割であったのが1年では9割強に追いついており、3年半では無筋コアではほぼ同等となっている。弾性係数は常用と大差ないが微増傾向にあった。図-4に示されるようにシュミットハンマーによる床版およびダミー版に対する結果も同様の傾向を示している。

3.2 実橋床版のひずみ挙動と乾燥収縮量の評価

図-5に常用および膨張コンクリートダミー版の鉄筋ひずみの経時変化を示し、図-6には実橋の床版の鉄筋ひずみの例を示した。なお、これらひずみには材令3日以降、鉄筋との付着、鋼桁の拘束等の影響を加味した温度補正がなされている。これによると、ダミー版、実橋床版ともに膨張コンクリートでは初期の膨張は速やかであり、ダミー版では 160×10^{-6} 前後、実橋床版では橋軸直角方向すなわち幅員方向(主鉄筋方向)では 150×10^{-6} 弱、これに対し橋軸方向(配力筋方向)では桁拘束などの影響を受けて $50 \sim 60 \times 10^{-6}$ 小さく現れているのがわかる。材令7日以降乾燥収縮が生じているが、実橋では3~5ヶ月(常用)、12~15ヶ月(膨張)から橋軸方向のひずみが膨張側に移っている。これは桁拘束などの影響を受け収縮あるいは温度びわれの発生によるものと考えられる。幅員方向のひずみの進行は順調で、 $150 \sim 200 \times 10^{-6}$ の収縮ひずみを3年半で生じており、従来言われている値に近い。表-3にこ

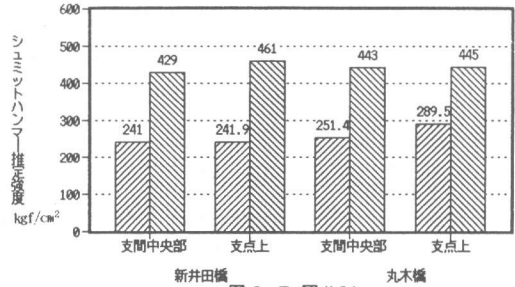


図-4 シュミットハンマーによる推定強度の経時変化

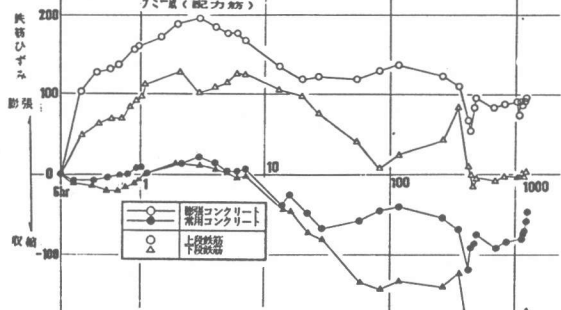


図-5 ダミー版の鉄筋ひずみ

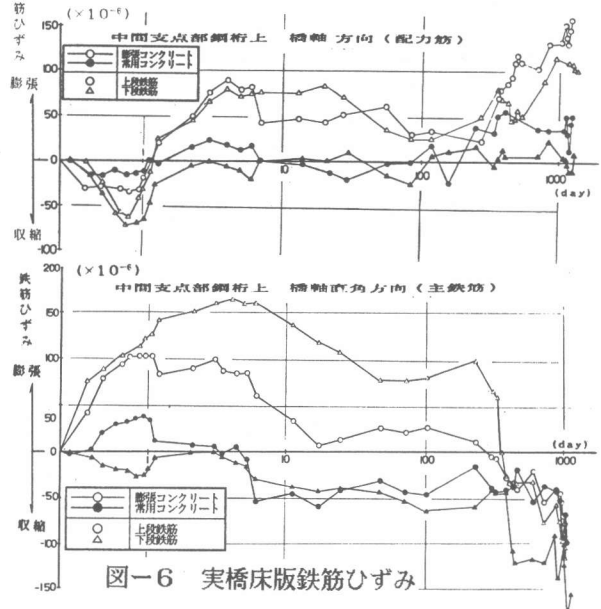


図-6 実橋床版鉄筋ひずみ

れら膨張および収縮の測定結果をまとめて示した。常用コンクリートではダミー版と実橋幅員方向の乾燥収縮は $120\sim 135\times 10^{-6}$ とほぼ同程度であり、膨張コンクリートではダミー版で $100\sim 120\times 10^{-6}$ に対し実橋では 200×10^{-6} 程度以上と差を生じた。この理由は判然としないが、幅員方向の拘束度の評価や部位による乾燥程度の違いなどの影響によるものと考えられる。

3・3ケミカルプレストレスとその残存値の評価

ケミカルプレストレス σ_{cp} を算出するにあたり、次の辻の⁴⁾単位体積あたりの膨張コンクリートが拘束鋼材に対してなす仕事量Uの概念を用いた。

$$U = 1/2 \cdot p \cdot E_s \cdot \varepsilon^2 = 1/2 \cdot \sigma_{cp} \cdot \varepsilon \quad (1)$$

(p = 鉄筋比, E_s = 鉄筋のヤング率, ε = 鉄筋ひずみ, σ_s = 鉄筋応力)

よって $\sigma_{cp} = 2U / \varepsilon \quad (2)$ あるいは $\sigma_{cp} = p \sigma_s \quad (3)$

また、橋軸方向のように鋼桁によって拘束される場合は⁵⁾、断面の上,下縁の膨張ひずみに関する2元連立2次方程式を解いて、求めた床版中心のひずみ ε を(2)式へ代入して定めた。なお、仕事量Uとしてはダミー版で得られた値を使用した。又、ダミー版では(3)式を用いて計算した。次に乾燥収縮を受けた場合は、ダミー版では(3)式を直接使い、実橋では次式により求めた。

$$\sigma_{cp} = \sigma_{cpo} - \sigma_{sh} \quad (4)$$

σ_{cpo} : 初期ケミカルプレストレス, σ_{sh} : 乾燥収縮応力

σ_{sh} は 幅員方向では、ヤング係数比 $n=21$ として鋼材とコンクリートの力のつり合い式より、橋軸方向については、鋼道路橋示方書の考えに従い付加モーメントを求め、平均の収縮応力を算出した。自由収縮 ε_f は表-3中に示される実測の無筋ダミー版や厚さ方向の収縮より仮定した。又比較のため幅員方向では、(3)式を用い実測の鉄筋応力から試算も試みた。表-4より、500日で(4)式では $+1\sim 2\text{kgf/cm}^2$ (3)式の場合では -2kgf/cm^2 、1150日で前者 -1kgf/cm^2 程度、後者約 -3kgf/cm^2 となり、500日以降でほぼプレストレスが収縮応力と相殺している様子が推察された。これは床版下面の初ひびわれの発生が7~9ヶ月であったことと符合している。

表-3 膨張量および乾燥収縮量

種別	ひずみ	方向	床版種別	平均測定膨張量 ($\times 10^{-6}$)	乾燥収縮量 ($\times 10^{-6}$)		
					100日	500日	1150日
常用 コン クリ ート	鉄筋	配力筋方向 (橋軸方向)	ダミー版	/	78	108	121
			新井田B		2	-64	-81
		主筋方向 (橋軸直角)	ダミー版		70	130	130
	コンクリート	厚さ方向	ダミー版		54	105	120
			新井田B		57	113	90
		無筋ダミー	50		161	254	
膨張 コン クリ ート	鉄筋	配力筋方向 (橋軸方向)	ダミー版	157	62	76	88
			丸木 A	88	32	39	25
		丸木 B	89	22	-69	-94	
		主筋方向 (橋軸直角)	ダミー版	163	84	113	114
			丸木 A	143	71	167	206
			丸木 B	153	84	200	234
	コンクリート	厚さ方向	ダミー版	540	25	40	18
			丸木 A	532	55	139	258
		丸木 B	640	61	133	227	
		無筋ダミー	470	56	78	73	

表-4 ケミカルプレストレスの推定

		最大膨張時	100日	500日	1150日
ダ ミ ー 版	配力筋 方向	6.3	3.2	2.7	2.4
	主鉄筋 方向	5.1	2.1	1.5	0.7
	平均	5.7	2.7	2.1	1.5
実 橋 床 版	橋軸直角 (幅員方向)	5.9	(1.3) 4.0 (a)	(-1.8) 2.0 (b)	(-3.1) 1.0~-0.2 (c)
	橋軸方向	9.3	6.0 (a)	1.8 (b)	-0.1~-2.4 (c)

() 鉄筋応力を用い(3)式より直接推定 ($p=0.0151$)

(a): $\varepsilon_f=70\times 10^{-6}$ (b): $\varepsilon_f=160\times 10^{-6}$ (c): $\varepsilon_f=200\sim 250\times 10^{-6}$

3・4 ひびわれ特性： 新井田橋および丸木橋膨張コンクリートG2-G3桁間の床版のひびわれ一覧を表-5に示す。膨張コンクリート床版下面の初ひびわれ発見は7~9ヶ月であり、ひびわれ幅は1150日現在で常用コンクリートの約1/4で0.15mm以下である。7ヶ月および3年における下面ひびわれの例を図-7に示すが、膨張コンクリート床版では幅員方向のものがほとんどであり、常用コンクリートでは橋軸方向のものがかなり認められる。実橋での昼夜測定でも認められたが、豊福⁶⁾らの指摘する温度応力の影響が現れたものと思われる。この点からも膨張床版の有用性は伺えよう。

表-5 実橋床版下面のひびわれ一覧

床版	位置	ひびわれ発見時期	最大ひびわれ幅 (mm) *			ひびわれ密度 (m/m) *		
			3ヶ月	500日	1150日	3ヶ月	500日	1150日
			支間中央	新井田	脱型後4日	0.35		
A	丸木	脱型後3週	0.08			2.2		
		支点上	新井田	脱型後1日	0.15			7.7
B	丸木	脱型後2週	0.10			0.4		
		支間中央	新井田	脱型後1週	0.08	0.10	0.60	2.4
A	丸木	脱型後7ヶ月	0.048	0.10	0.15	0.15 [#]	0.75	0.95
		支点上	新井田	脱型後2週	0.08	0.10	0.40	1.3
B	丸木	脱型後8ヶ月	—	0.08	0.10	—	0.48	0.84

材令7ヶ月の測定値

部位別の床版のひびわれ密度の測定例を図-8に示す。これより、風の作用などの不均一な収縮に起因する応力発生がその原因の一つと考えられる。図-9は、G2-G3桁間のひびわれ密度Dと材令の関係tを片対数紙上で求めたもので、直線式の関係が認められた。図中にこの関係を示したが、やや支間中央でひびわれは多いものの、支点上も支間中央もひびわれ進行の速さは同様であること。又、5)式中の勾配aは常用コンクリートで膨張コンクリートの約1.5倍で膨張コンクリートに比べかなりひびわれ進行の速いことを示している。また、ひびわれの主原因となる収縮やクリープ等と同様な進行状態となることは興味深い。

$$D = a \log(t+1) + b \quad (5)$$

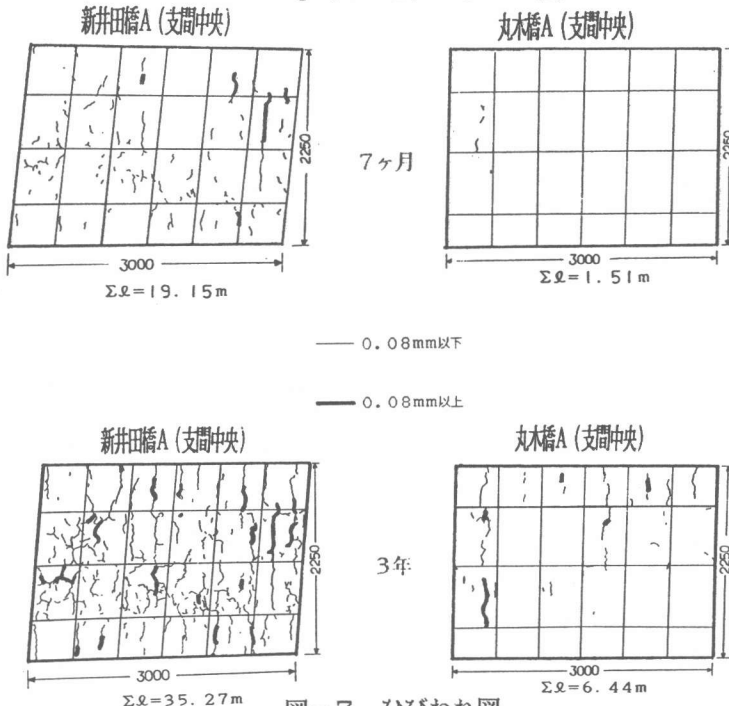


図-7 ひびわれ図

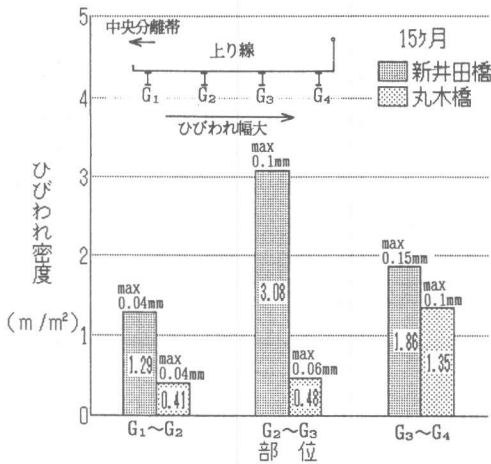


図-8 床版の位置とひび割れの関係

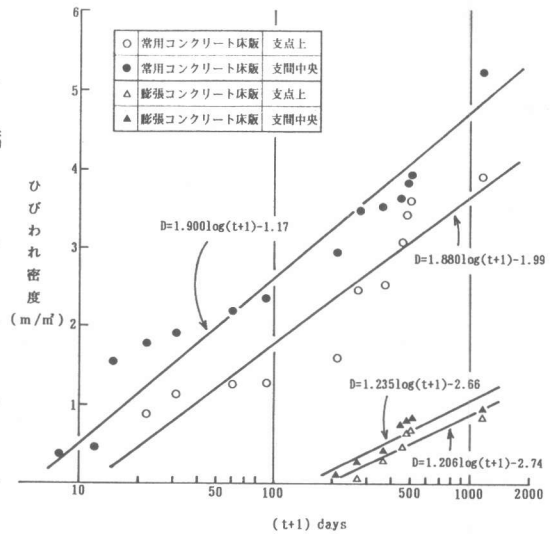


図-9 ひびわれ密度と材令

4. まとめ

東北自動車道の一鋼橋床版に膨張コンクリートを試験施工し、3年半の調査を実施した。膨張材を収縮補償の範囲で用いても床版コンクリートは6~9kgf/cm²のケミカルプレストレスが導入された。材令500日以降でプレストレスはほぼ収縮応力と相殺され失われたものと推察されたが、ひびわれ速さや幅、さらにはひびわれの量的な面で常用コンクリートに比べ格段に改善されていることが確かめられた。融氷剤散布による塩害や凍害、さらにこれらの複合作用による劣化が今後懸念される所であるが、膨張コンクリートはこれに対し十分有効に効果を発揮するものと考えられる。今後さらに調査を継続する必要がある。

参考文献

- 1) 南関東自動車道 小菅高架橋膨張コンクリート試験概要
日本道路公団佐原工事事務所, 1984.3
- 2) 豊福, 丸山, 鶴窪: 膨張コンクリートによる鋼橋床版のひびわれ対策, 技術情報, 第68号
日本道路公団試験所 1983.7
- 3) 杉田, 庄谷, 鈴木, 宮崎: 膨張コンクリートによる鋼橋床版の耐久性改善に関する検討
第41会土木学会年次学術講演会 講演概要, 1部 P430~431
- 4) 辻幸和: コンクリートにおけるケミカルプレストレスの利用に関する基礎研究, 土木学会論文報告集 第235号 PP111~124, 1975
- 5) 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, vol19.No6.1981, PP99~105
- 6) 豊福, 中村, 神保, 城国: 温度応力に起因する鋼道路橋鉄筋コンクリート床版の初期ひびわれ, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, P13~16, 1985