

【技術ノート】

膨張コンクリートによる 鋼道路橋RC床版のひびわれ損傷対策

Application of Expansive Concrete for the Crack Control of Reinforced Concrete Deck Slab

金 田 高 康 *
Takayasu KANEDA
保 科 昭 **
Akira HOSHINA
町 田 文 孝 ***
Fumitaka MACHIDA

1. まえがき

鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下RC床版）は、車輛による移動荷重を直接繰り返し受けるため、近年、交通量の増加、車輛の重量増加に伴い、損傷が激しくなっている。そのため、RC床版の損傷対策が、道路の維持管理上、重要な課題となっており、種々の機関でRC床版の損傷機構を明らかにし、今後の設計、補修に反映させるため、調査・研究が進められている。これらの調査・研究の結果、コンクリートの乾燥収縮・温度応力および施工時のコンクリートのかぶり不足、養生不足等によって生じた初期ひびわれが、水の浸透や輪荷重によるすり磨き作用等によって進行し、破損に至ることが明らかになった。

そこで、コンクリートの乾燥収縮による初期ひびわれを抑制することを目的とし、膨張コンクリートをRC床版に使用することが、近年、検討されるようになってきた。

しかし、膨張コンクリートをRC床版に使用した実橋は、わが国では数橋しかなく、非合成桁のスラブ止めの合成効果による鋼桁への影響、床版内のひずみ経時変化等が十分に解明されていない。このため、昭和58年10月に東関東自動車道小菅高架橋において、膨張コンクリートを使用したRC床版が施工された。

本報告では、施工と同時に開始された追跡調査結果および施工性の確認について述べるものである。

2. RC床版の損傷機構とその対策

2-1 損傷機構

図-1に示すように、RC床版の損傷は、コンクリートの乾燥収縮、温度応力および養生不足、かぶり不足等の施工の不完全によりコンクリートに初期ひびわれが発生した後、雨水のひびわれへの浸透、輪荷重によるひびわれのすり磨きおよび塩分による鉄筋の発錆等により進

行していく。

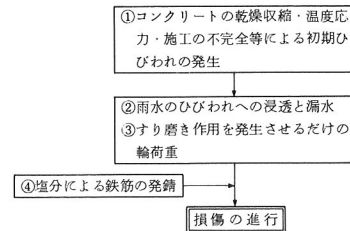


図-1 RC床版の損傷機構

2-2 損傷対策

床版厚を厚くした昭和48年以降の設計でも、乾燥収縮によるひびわれや鉄筋位置でのかぶりが小さいために生じる施工ひびわれ等が依然発生しており、このため、雨水の浸透や塩分の浸透により鉄筋が発錆し、損傷を起こしている。

この結果、ひびわれの発生を抑制するため、または、ひびわれが発生しても、水や塩分の浸透が起らないようにするため、表-1に示すような損傷防止対策が考えられるようになった。

表-1 損傷原因に対する対策工法

損 傷 原 因	対 策 工 法
コンクリートの乾燥収縮・温度応力・施工の不完全	膨張コンクリートの使用 プレストレスの導入 施工管理の強化 設計段階での施工誤差の配慮
雨水のひびわれへの浸透と漏水	防水シートの使用 防水層をアスファルトに組込む
輪 荷 重 の 増 大	床版の増厚補強 補助桁の取付け（増桁工法）
鉄 筋 の 発 錆	防錆鉄筋の使用

3. 現場実施要領

日本道路公団における膨張コンクリートを使用したRC床版の施工は、昭和55年10月の黒石浜橋（長崎自動車道，諫早IC第四橋，鋼単純合成げた橋）¹⁾と昭和57年6月の多良見橋（長崎自動車道，多良見第二橋，鋼4径間連続非合成鉸げた橋）の側径間部だけであり，箱桁橋，トラス橋および連続形式の橋梁等では使用されていない。

そのため，今回，東関東自動車道・小菅高架橋において，膨張コンクリートを使用したRC床版の試験施工が行われることとなった。

3-1 施工場所

3-1-1 工事概要

- (1) 工事名 : 東関東自動車道小菅高架橋（鋼上部工）工事
- (2) 発注者 : 日本道路公団東京第1建設局
- (3) 工事場所 : 自）千葉県成田市小菅字間々田
至）千葉県成田市長田字洲崎
- (4) 工期 : 昭和58年6月～昭和59年1月
- (5) 橋梁の概要：

橋格：一等橋（TL-20）

形式：2径間連続非合成鉸桁＋3径間連続非合成箱桁＋5径間連続非合成鉸桁（上下線分離）

橋長：上り線343.7m

下り線346.7m

支間：上り線（25.5m＋21.0m）＋（41.5m＋68.0m＋41.5m）＋（31.5m＋4@28.0m）

下り線（2@21.75m）＋（44.5m＋68.0m＋44.5m）＋（31.5m＋4@28.0m）

有効幅員：10m

床版：鉄筋コンクリート床版（ $t=24\text{cm}$ ）

舗装：アスファルト舗装（ $t=7.5\text{cm}$ ）

3-1-2 試験施工区間

試験施工は図-2の平面図に示すように，2径間連続非合成鉸桁橋（上り線）と3径間連続非合成箱桁橋（下り線）において実施された。

3-2 配合

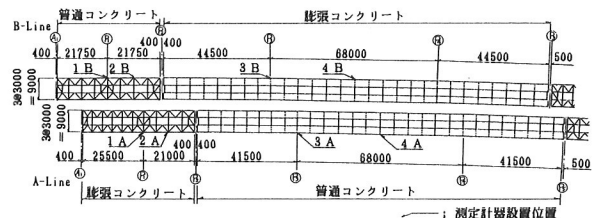


図-2 平面図

膨張コンクリートをRC床版に使用するにあたり，膨張材量の決定を行わなくてはならない。そのため，本試験施工では，収縮補償を目的とし，膨張材の量を数段階に分け，試験練りを実施し，既に膨張コンクリートをRC床版に使用し，実橋での測定を実施した黒石浜橋，多良見橋の試験練りおよび実橋の膨張量測定結果と比較検討し，膨張材量の決定を行った。

3-2-1 試験練り

本試験施工では，膨張材としてエトリンガイト系のデノンCSA#20を使用し，表-2に示す配合により試験練りを実施した。

表-2 試験練りにおける配合

配合 No.	呼び強度 (kg/cm ²)	G _{max} mm	スランプ cm	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単位重量 (kg/m ³)					
							C	W	S	G	CSA	混和剤 Pozz No. 5 L
1							300	141	757	1124	0	0.75
2							270	141	757	1124	30	0.75
3	24.0	25	10	4.5	4.7	4.0	265	141	757	1124	35	0.75
4							260	141	757	1124	40	0.75
5							255	141	757	1124	45	0.75

(注) 試験練りは，30ℓ×2パッチ=60ℓとする。

試験練りによる各々の配合の圧縮強度および膨張量測定結果を表-3および図-3に示す。

表-3 各コンクリートの圧縮強度

配合 No.	標準養生		拘束養生	
	7日	28日	7日	28日
1 (0)	267 258 279	268	246 255 263	255
2 (30)	287 283 272	281	254 255 264	258
3 (35)	283 282 268	278	232 265 269	250
4 (40)	263 241 264	256	259 239 267	258
5 (45)	250 259 265	257	257 268 250	258

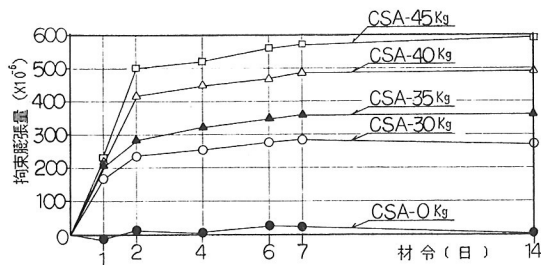


図-3 各コンクリートの拘束膨張量

3-2-2 比較検討

黒石浜橋と多良見橋の試験練り結果と実橋での測定結果をコンクリート打設後7日に着目すると表-4のようになる。

表-4 他橋での測定結果

	膨張量($\times 10^{-6}$) (μ)		圧縮強度 (kg/cm^2)	
	試験練り	実 橋	試験練り	実 橋
黒石浜橋	300	160	329	325
多良見橋	250	180	244	249

また普通コンクリートを使用したRC床版の材令700日後の乾燥収縮量は約 200×10^{-6} であり、膨張コンクリートを使用したRC床版の材令700日の膨張後の乾燥収縮量も約 $150 \sim 200 \times 10^{-6}$ であった。

以上のことを踏まえ、さらに、

- (1) 材令 ∞ 日で多少の膨張量を残す。
- (2) 気候上、長崎よりも多少乾燥度合が大きい可能性がある。

ということを考慮に入れ、実橋での膨張量を 200×10^{-6} 強とし、試験練り時の膨張量を 350×10^{-6} 程度を目標とし、試験練り結果を検討した。その結果、圧縮強度の低下もわずかであり、膨張量 350×10^{-6} を確保できる膨張材の量は $35 \text{ kg}/\text{m}^3$ であった。そこで、本試験施工では、セメント $265 \text{ kg}/\text{m}^3$ に対し、膨張材量 $35 \text{ kg}/\text{m}^3$ の配合で膨張コンクリートを打設することとした。

3-3 施 工

3-3-1 膨張材の投入管理

生コンプラントにおける膨張材の投入は、膨張材を自動計量し、プラントミキサー内に自動的に圧送するバルク車方式によって行われた。

しかし、膨張材量が規定の2倍程度投入されるとコンクリートは膨張破壊を起こす可能性があり、また、少な

い時には、膨張コンクリートを使用する目的を達成することができなくなる。そのため、実橋の施工前に投入機の計量精度試験を行い、計量誤差が2%以下であることを確認した。

計量・投入は、プラントのオペレーター室より遠隔操作によって行われるが、何らかのミスで投入回数を誤まったり、誤操作をする可能性があるため、専任の投入作業管理者を設置し、投入管理を行った。

3-3-2 練混ぜ・打設

練混ぜは、膨張コンクリートが均一に膨張を起こすようにするため、普通コンクリートに比べ練混ぜ時間を30秒程度長くした。

打設は、普通コンクリートの打設と同様に地上に設置したポンプ車により橋上に圧送し行ったが、何ら問題は生じなかった。

しかしながら、膨張コンクリートは普通コンクリートに比べ硬化時の粘性がやや高く、普通コンクリートと同時間に表面仕上げを行うと仕上げにくさが目立ったが、普通コンクリートより30分～1時間前に表面仕上げを実施すれば、普通コンクリートと同様に表面仕上げができることが確認された。

3-3-3 養 生

膨張コンクリートが所定の膨張性能を十分に発揮するためには、セメントと膨張材の水和反応が十分に促進される必要がある。また、試験練りにおける膨張量測定結果(図-3)を見ても解かるように、膨張コンクリートの膨張反応は、材令7日程度まで継続される。

以上より、本工事では、膨張コンクリートの膨張を十分に発生させるため、湿潤養生により材令7日まで養生を行った。

4. 計 測

今まで、膨張コンクリートをRC床版に使用した施工例は、日本道路公団では2橋しかなく、更に本試験施工のように大規模に実施するのは初めてである。これらのことから、施工中および完成後に次のような計測を実施した。

- (1) 長期測定—施工時から完成後の長期的な床版コンクリートの膨張および乾燥収縮の把握、膨張コンクリートの初期ひびわれ抑制効果の確認。

- (2) 静的載荷試験—スラブ止めによる合成效果の確認、
非合成連続桁中間支点上の床版コンクリートおよび鋼
桁の累計応力の確認。
概要を表-5に示す。

表-5 小菅高架橋試験概要

項目	概要
膨張・普通コンクリートに関する試験	打設したコンクリートの現場養生における、圧縮・曲げ・引張・ヤング係数・膨張率試験
実験	RC床版の鉄筋・コンクリートおよび鋼主桁のひずみ・応力測定。(1A, 2A, 3A, 1B, 2B, 3B, 4B断面, ダミーのコンクリート版)
試験	気温・コンクリートおよび鋼主桁の温度測定(1A, 2A, 3A, 4A, 1B, 2B, 3B, 4B断面, ダミーのコンクリート版)
験	ひびわれ測定 橋の変形測定 橋の鉛直, 橋軸, 橋軸直角方向変位の測定
	静荷重によるRC床版の鉄筋・コンクリートおよび鋼主桁のひずみ応力測定

4-1 長期測定

膨張コンクリートを使用した鋼道路橋RC床版の施工は日本では数少なく、そのため、膨張コンクリートの実橋でのひずみ変動およびそのひずみ変動が鋼桁に与える影響等が十分に解明されていない。

また、非合成連続桁中間支点上のRC床版に膨張コンクリートを使用した場合、鋼桁とRC床版が非合成状態になっていれば何ら問題はないが、実際には、合成と非合成の中間の状態になっていると考えられているため、鋼桁上縁に引張応力が発生し、その応力を設計応力に累計すると応力オーバーとなり問題が生じてくる。しかし、鋼桁とRC床版が合成断面になっているとすると、外力に対する抵抗断面も全断面有効となり、膨張コンクリートの使用によって発生した応力を累計しても問題はないと思われるが、実橋での検証は行われていない。

そこで、長期測定では以下の目的で試験を実施した。

- (1) 膨張コンクリートを使用したRC床版の長期的挙動の確認。
- (2) 膨張コンクリートの初期ひびわれ抑制効果の確認。
- (3) 連続桁中間支点上のRC床版に膨張コンクリートを使用した時の鋼桁への影響の確認。
- (4) 膨張コンクリートをRC床版に使用したことによる鋼桁の変形の確認。

4-1-1 床版コンクリートひずみ経時変化

実橋のRC床版のひずみ変化が、鋼桁との合成および鋼桁上フランジ上面との付着によってどのような影響を

受けているかを把握するため、実橋のRC床版とできるだけ条件を同じにした床版模型供試体(以下ダミー版)を製作した。

ダミー版および実橋のRC床版内に設置した鉄筋計による鉄筋ひずみの経時変化測定結果を図-4~図-7に示す。また、膨張コンクリートを使用したダミー版、鋼桁および箱桁の最大膨張量(最大鉄筋ひずみ)を表-6に示す。

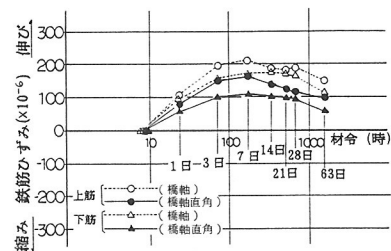


図-4 膨張コンクリートダミー版の鉄筋ひずみ

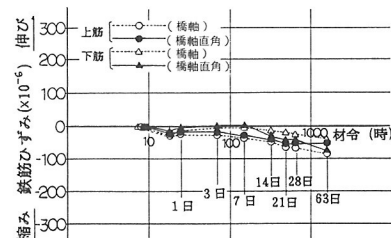


図-5 普通コンクリートダミー版の鉄筋ひずみ

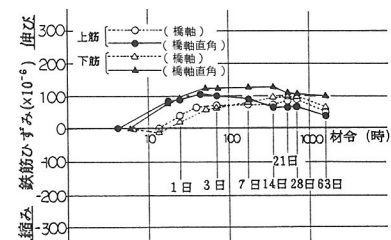


図-6 連続箱桁中間支点上の鉄筋ひずみ(膨張)

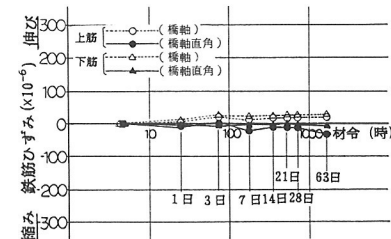


図-7 連続箱桁中間支点上の鉄筋ひずみ(普通)

表-6 最大膨張量(材令 3日)

	($\times 10^{-6}$)		
	鋼桁	箱桁	ダミー版
橋軸方向	130	80	200
橋軸直角方向	160	130	150

膨張コンクリートを使用したダミー版では、鉄筋比が小さい（配力鉄筋：0.0097，主鉄筋：0.01412）配力鉄筋方向の伸びひずみ（ 200×10^{-6} ）が主鉄筋方向（ 150×10^{-6} ）に比べ大きくなっている。しかし、実橋では鋼桁の拘束を受ける配力鉄筋方向の伸びひずみが逆に小さくなっており、ダミー版に比べ、鈑桁で約 $\frac{3}{5}$ 、箱桁で $\frac{2}{5}$ の伸びひずみとなった。また、実橋の主鉄筋方向の伸びひずみが、鈑桁、箱桁ともにダミー版の測定結果とほとんど同じ値となっていることから、鋼桁の拘束は配力鉄筋方向にしか影響しないと思われる。

このことより、膨張コンクリートの膨張量は、鋼桁橋軸方向の断面が大きくなると小さくなる傾向が見られ、また、通常、乾燥収縮ひびわれは、橋軸直角方向に多く見られるので、今後、膨張量の決定を行う際には、鋼桁断面の大きさ、鉄筋比等を考慮に入れ、十分に検討する必要があると思われる。

4-1-2 鋼桁と床版の応力分布

RC床版に膨張コンクリートを使用した場合の鋼桁の応力と配力鉄筋の応力を図-8に示す。

設計では、RC床版と鋼桁は非合成と設計されているにもかかわらず、実際には、図に示すように膨張コンクリートの膨張に伴い、鋼桁上縁に引張応力が導入されており、その引張応力は、最大時で 100 kg/cm^2 となっている。

4-1-3 橋体の変形

橋体の変形量の測定を床版コンクリート打設時から、鉛直方向および橋軸方向について実施した。鉛直方向変位は、膨張コンクリートおよび普通コンクリートともに差は見られなかったが、橋軸方向変位については、膨張コンクリートの方が普通コンクリートに比べ打設完了1週間後で約1cm程大きくなっていた。

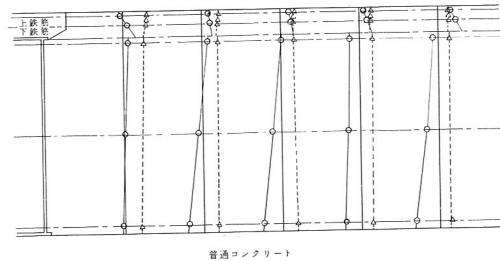
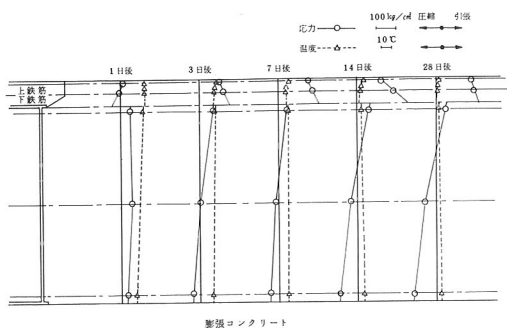


図-8 3径間連続非合成箱桁中間支点上・鉄筋-鋼桁応力分布

4-1-4 ひびわれ抑制効果の確認

実橋の床版下面のコンクリート打設後9～10ヶ月目のひびわれ発生状況を図-9，図-10に示す。

普通コンクリートを使用したRC床版のひびわれ密度は、ひびわれ幅 $0.05 \text{ mm} \sim 0.15 \text{ mm}$ の場合、2径間連続非合成鈑桁・中間支点上で 0.22 m/m^2 、支間中央で 0.30 m/m^2 となっている。それに対し、膨張コンクリートを使用したRC床版では、ひびわれは発生していない。

また、壁高欄についても膨張コンクリートを使用した部分については、ほとんどひびわれは発生していない。

以上のことより、コンクリートの乾燥収縮に対するひびわれ抑制の効果が、膨張コンクリートには十分あるものと思われる。

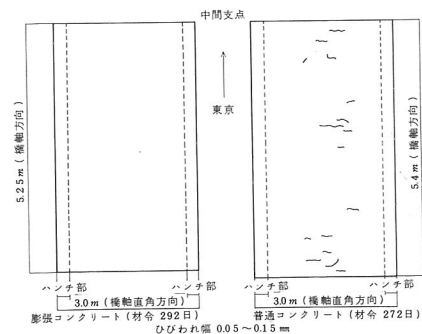


図-9 2径間連続非合成鈑桁中間支点上・床版下面ひびわれ発生状況

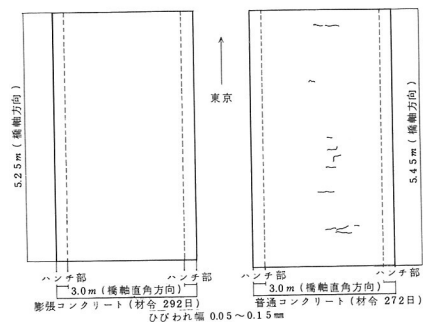


図-10 2径間連続非合成鈑桁支間中央・床版下面ひびわれ発生状況

4-2 静的載荷試験

活荷重載荷時の鋼桁とRC床版の合成状態は、通常、合成と非合成の中間の状態と考えられている。本橋でも、長期測定の結果、スラブ止めによりある程度の合成効果があることが確認されているが、外力に対してどれだけの合成効果があるか未確認である。

そこで、静的載荷試験では、以下に示す目的で試験を実施した。

- (1) 鋼桁上フランジ上に設置してあるスラブ止めによる合成効果の確認。
- (2) 中間支点上の膨張コンクリート床版の挙動の確認。

試験は、総重量25tonのダンプトラック4台を支間中央に載荷し行った。

静的載荷試験の結果例を、実荷重と載荷位置を用いて平面骨組理論で計算した値とともに図-11、図-12に示す。これらを見ると、鋼桁とRC床版の合成状態は床版コンクリートが普通コンクリート、膨張コンクリートにかかわらず、ほとんど合成桁と考えた状態になっている。また、中間支点上床版コンクリートにおける荷重載荷による発生応力は、 $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ (引張応力)となった。

4-3 まとめ

コンクリート打設後9～10ヶ月経過したが、膨張コンクリートを使用した床版および壁高欄にはひびわれはほとんど発生していなかった。このことから、実橋での膨張量は、コンクリートの収縮ひずみを十分に補償しており、ひびわれ損傷対策として有効であったものと思われる。

連続桁中間支点上の鋼桁上縁には、膨張コンクリートの膨張により引張応力が導入されるが、材令初期には合成桁に近い状態で外力に抵抗し、長期材令時には乾燥収

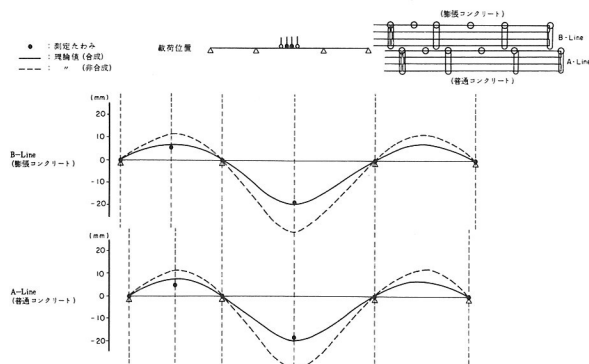


図-11 3径間連続非合成箱桁の鉛直変位

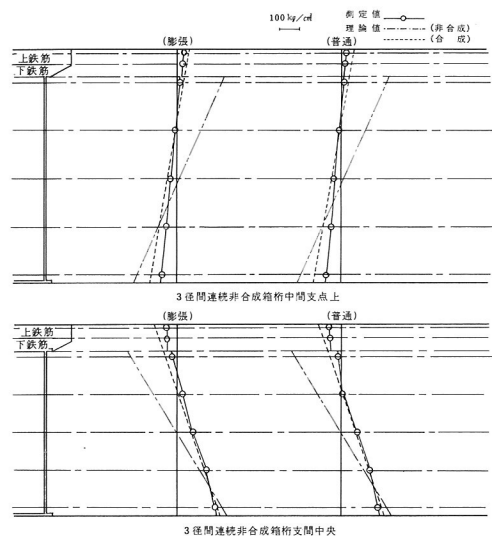


図-12 静的載荷試験：鉄筋—鋼桁応力分布

縮により膨張量が小さくなり鋼桁上縁の引張応力が減少することを考えると問題はないと思われる。

鋼桁の桁断面のちがいににより、膨張量が変化することが認められるので、膨張材の投入量の決定時には十分な注意が必要であると思われる。

5. おわりに

本工事では、膨張コンクリートの施工性の確認および長期変動の調査を実施した。これらの成果として、膨張コンクリートによる初期ひびわれ抑制の効果が確認され、また、施工について従来の普通コンクリートと同様の施工方法で安全であることが確認された。

しかし、膨張コンクリートの実橋での施工例はまだわずかであり、長期的な観測例も少なく、今後、より一層の研究を期待する次第である。

最後に、本業務の遂行にあたり、数々の御助言を頂いた、日本道路公団東京第1建設局佐原工務事務所の方々、日本道路公団試験所コンクリート試験室の方々および関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 武田・中村・豊福：膨張コンクリートによる鋼橋床版のひびわれ対策—長崎自動車道黒石浜橋(諫早IC第四橋)の追跡調査—、コンクリート工学, Vol. 21, No. 3, 1983.
- 2) 坂手・町田・後藤：膨張コンクリートの使用による鋼橋床版のひびわれ対策、土木学会第39回年次学術講演会講演概要集, 1984.