

道路橋の鉄筋コンクリート床版に関する 調査研究および補修補強について

高 木 秀 貴*

まえがき

近年、道路橋の鉄筋コンクリート床版の損傷事例が数多く見られ、道路管理上の大きな問題となっている。この問題は、供用開始後、数10年経過した橋梁ばかりでなく、供用開始後数年の橋梁の床版にも損傷が見られるものがあり、また同形式の橋梁でも損傷の発生しているものとそうでないもの、同一橋梁でも径間によって損傷状態が相違しているものなど種々雑多の例があり、その都度各所で各種の方法により補修補強がなされている。

本報告では、北海道開発局で管理している鋼道路橋のうち、昭和44年以前架設の鋼道路橋について鉄筋コンクリート床版の実態調査を実施したので、その概括報告と鉄筋コンクリート床版の実橋載荷試験の結果を通じて、床版の耐荷力に関して若干の考察を加え、わが国の鉄筋コンクリート床版の損傷関係の文献を総じて、過去の鉄筋コンクリート床版の問題点ならびに補修補強の概要を述べる。

1. 昭和50年度までの調査研究の経緯

道路橋の鉄筋コンクリート床版の損傷関係の調査研究は、北海道開発局においては昭和47年度より建設省にお

いては昭和48年度より技術研究会の指定課題として取り上げられ、現在まで進められてきており、その経緯は表一1のようになっている。

建設省（土研、道路局）の調査は、橋梁上部工全体の損傷実体の調査から、上部工の維持管理上の現在の主な問題点が鉄筋コンクリート床版にあることを明確化し、その上で鉄筋コンクリート床版の実際の補修補強例の調査、そして補修補強後の追跡調査（再損傷の有無）を通じての補修補強工法の効果について論じており、北海道開発局では、鉄筋コンクリート床版の補修補強例のいくつかについて、実橋（現地）での床版の載荷試験を実施し、その試験結果を通じて補修補強工法（鋼板接着工法、FRP層接着工法）の効果について論じてきた。

いずれも、最終的には床版の維持管理上の考え方を系統的にまとめ、損傷実態に適合した適切かつ効果的な補修補強対策を講ずるための指針を得ることを目的とするものである。

鉄筋コンクリート床版については、とくに疲労耐力について未解明の問題が多いわけであるが、一応現在のところ全国的に一般化しつつある考え方を本報告においてまとめ、北海道開発局においても系統的に鉄筋コン

表一1 調 査 研 究 の 経 緯

	建 設 省	北 海 道 開 発 局
昭和47年度		茂岩橋鋼板接着による床版補修効果について
昭和48年度	補修補強工法の実例調査 (橋梁上部工関係)	道路橋の鉄筋コンクリート床版補強工法について 雁来橋(FRP層接着補強工法)、天塩大橋(鋼板接着補強工法)について
昭和49年度	補修補強工事の追跡調査 (橋梁上部工関係)	道路橋の鉄筋コンクリート床版に関する調査研究および補修補強工法について(昭和39年以前架設の鋼道路橋床版の実態調査)
昭和50年度	補修補強工事の追跡調査 (床版に限定) 合成樹脂注入および強度調査	同 上 (昭和40年～44年架設の鋼道路橋の実態調査)

*構造研究室員

リート床版の維持管理を施行していくための資料とした
い。

2. 北海道開発局内における鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の実態調査

(昭和44年以前架設のものを対象として)

道路橋の鉄筋コンクリート床版の損傷は、北海道内だけでなく全国的な問題であり、各地でいろいろな方法で対処されてきている。

北海道開発局においても、現在の道路橋の鉄筋コンクリート床版の損傷実態を把握し、それに合わせた維持管理を遂行するために、昭和49年、50年度で、昭和44年以前架設の鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の実態調査を実施し、総合的な判断のもとに、予算の有効適切な利用をはかろうとするものである。

既設鉄筋コンクリート床版の設計荷重の推移を表一2

表一2 床版設計荷重の推移

示 方 書	等 級	自動車荷重	1 後輪荷重
大 正 15 年	1 等 橋	12 ^(t)	4.8 ^(t)
	2 等 橋	8	3.2
	3 等 橋	6	2.4
昭 和 14 年	1 等 橋	13	5.2
	2 等 橋	9	3.6
昭 和 31 年 昭 和 39 年	1 等 橋	20	8.0
	2 等 橋	14	5.6
昭 和 48 年 (現 行)	1 等 橋	20	8.0 (9.6)*
	2 等 橋	14	5.6

(※ 大型車両 1 日 1 方向 1,000 台以上の場合 20% の割増)

表一3 鉄筋コンクリート床版の損傷要因

損 傷 要 因	備 考
I. 荷重条件	
(1) 輪 荷 重 の 増 大	現行 1 等橋の設計荷重 8 t 以上の輪荷重を超過する車両が多くなっている。
(2) 交 通 量 の 増 加	輪荷重の作用頻度の増加。
(3) 衝 撃 の 影 響	伸縮継手、橋面舗装の損傷や不整により衝撃力が大となる。この場合、衝撃が著しい個所において局部的にクラックの発生、進行が見られる。
(4) 輪荷重の通行軌跡と支持げた配置との関係	輪荷重通行軌跡が支持げた間隔中央に位置する場合、床版の作用曲げモーメントが大きい。
II. 構造条件	
(5) 鉄 筋 量 の 不 足 (とくに配力鉄筋)	昭和42年の道路局長通達以前の床版では、配力鉄筋が主鉄筋の25%程度しか配置されていないため、配力鉄筋方向の剛性が乏しい。この場合、典型的には幅員方向のクラックの発生が先行する。
(6) 床 版 厚 の 不 足	床版支間の割に床版厚がうすい場合、床版の剛性が低く変形が大となる。
(7) 鉄筋の許容応力の過大	鉄筋の許容応力を大きくとっている場合、床版の引張側コンクリートがクラック発生に対し、より不利な状態となる。
(8) 交 番 応 力 の 影 響	アーチ系橋梁、下路トラス橋などの床版は、支間方向位置により、また活荷重載荷位置によって構造系全体の作用として負の曲げモーメントまたは引張力を受けることがある。
(9) 主げたによる拘束の影響	床版コンクリートの乾燥収縮が主げたにより、拘束され引張応力を生ずることがある。
(10) 主げた(縦げた)の不等沈下の影響	不等沈下による付加曲げモーメントはかなり大きい。ハンチ付け根付近に橋軸方向クラックが発生しやすい。
(11) 自由縁における過大曲げモーメントの作用	床版の施工打ち継ぎ目などで版が自由縁状態になっている場合、過大な曲げモーメントが作用する。
III. 施工条件	
(12) コンクリート材料の品質不良	鉄筋、骨材、セメント、混和剤、水などの品質不良。
(13) 施 工 不 良	コンクリートの誤配合、型枠の不良、打設方法、順序、打継ぎ目の処理、締固め、養生不良、鉄筋の配置、床版厚などの施工上の問題がある。とくに北海道においては、打設時期も問題となる。

に示したが、これらの床版は近年の交通量の増大、重車両の大型化により、他の主要部材に比し非常に苛酷な状態に置かれており、それらに対して表—3に示すような損傷の要因を抽出し、現行道路橋示方書（昭和48年）では、できる限りの改善を行っている。

北海道開発局内の鋼道路橋の実態調査では、表—3の損傷要因と損傷実態の関係をとらえるために、表—4のように単なる損傷実態だけでなく床版の設計条件も調査した。設計条件については、古い橋梁では資料が残っておらず不明のものが多く、また損傷実態についても橋梁床版の全面的調査は労力的にも経済的にも不可能なので、ある範囲に限られ、橋梁床版の全体の状態を示しているとはいいがたいが、ある程度の傾向を示していると考えられるので（とくに局部的損傷と特記されているものは集計から除外した）それらを概略まとめた。

(1) 損傷状況（ m^2 当たりクラック量）の頻度分布

調査対象橋梁の約65%について調査表の回収がなされた。まず、損傷状況（ m^2 当たりクラック量）の頻度分布は、表—5のようになっており、それらを図示すると図—1のようになる。表—5、図—1より、昭和39年以前架設の橋梁と昭和40年～44年架設の橋梁とは同じような傾向を示している。これは図—2に示すように昭和40年以降の北海道の自動車保有台数（結果としては交通量）

の急激な増加により、床版に作用する外力条件が急激に悪化してきたためであろうと考えられる。この頻度分布から後に掲載している表—7の床版の損傷ランクの比率を求めると、

初期状態（ m^2 当たりクラック量 $2.0\text{m}/\text{m}^2$ 以下）	—76.2%
中期状態（ m^2 当たりクラック量 $2.0\sim 3.0\text{m}/\text{m}^2$ ）	—9.1%
中期状態（ m^2 当たりクラック量 $3.0\sim 5.0\text{m}/\text{m}^2$ ）	—10.3%
末期状態（ m^2 当たりクラック量 $5.0\text{m}/\text{m}^2$ 以上）	—4.3%
破壊	

となっており、維持管理上注意を要する橋梁が意外に多いことがわかる。もちろん損傷の進行度は m^2 当たりクラック量だけでなく、クラック幅、クラックの深さ、コンクリートの劣化度など総合的判断によらなければならないが、上記の百分率はおよそその傾向値として把握することができよう。

(2) 床版厚、床版支持スパンと損傷状況

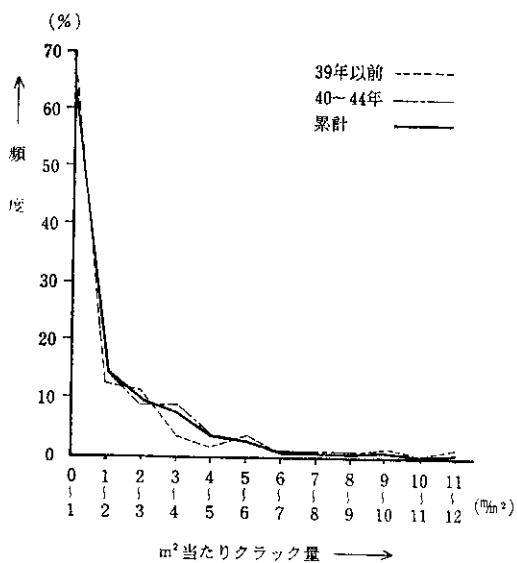
図—3より床版厚は17、18cmのものが全体の70～80%を占めており、床版支持スパンは、 $2.0\sim 3.0\text{m}$ が約70%を占めている。現行示方書の床版厚の規定〔連続版の床

表—4 道路橋鉄筋（コンクリート床版）の実態調査表

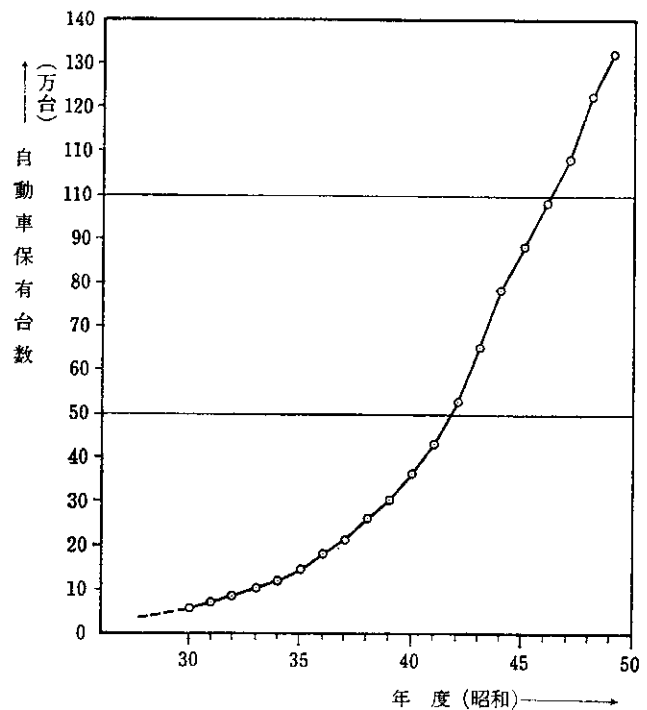
道路橋（鉄筋コンクリート床版）の実態調査				開 発 建 設 部			
1. 路	線	名					
2. 橋		名					
3. 橋		種					
4. 支	間	割					
5. 架	設	年	月	昭和	年	月	日
6. 幅		員		m			
7. 横	げ	た	間	m (調査支間 m)			
8. 主	げ	た	間	m			
9. 床	版	厚		cm			
10. 主鉄筋量	圧縮側			$\text{cm}^2/\text{m}(\quad)$			
	引張側			$\text{cm}^2/\text{m}(\quad)$			
11. 配力鉄筋量	圧縮側			$\text{cm}^2/\text{m}(\quad)$			
	引張側			$\text{cm}^2/\text{m}(\quad)$			
12. 鉄筋比	主鉄筋側			$\frac{A_s}{b d} = 100 \times \quad =$			
	配力鉄筋側			$\quad = 100 \times \quad =$			
13. コンクリート設計強度							
14. 交通量	昭和40年	昭和43年	昭和46年	昭和49年			
15. m^2 当たりクラック量	$\quad \times \quad = \quad \text{m}/\text{m}^2$ (昭和 年 月 調)						
16. クラック幅	最大クラック幅 mm 平均的クラック幅 mm						
17. その他特記事項	18. クラック状況見取り図						
19. 調査担当者	クラック長合計 m						

表—5 損 傷 状 況 の 頻 度 分 布

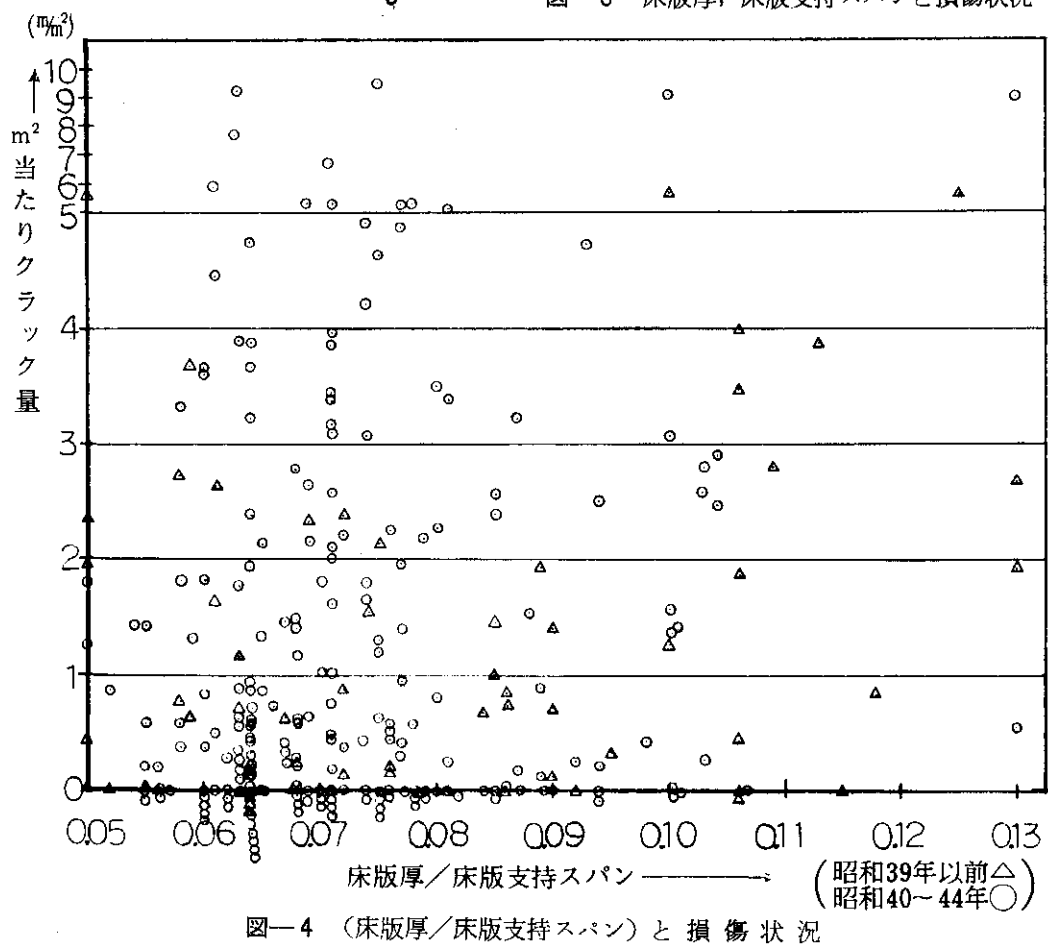
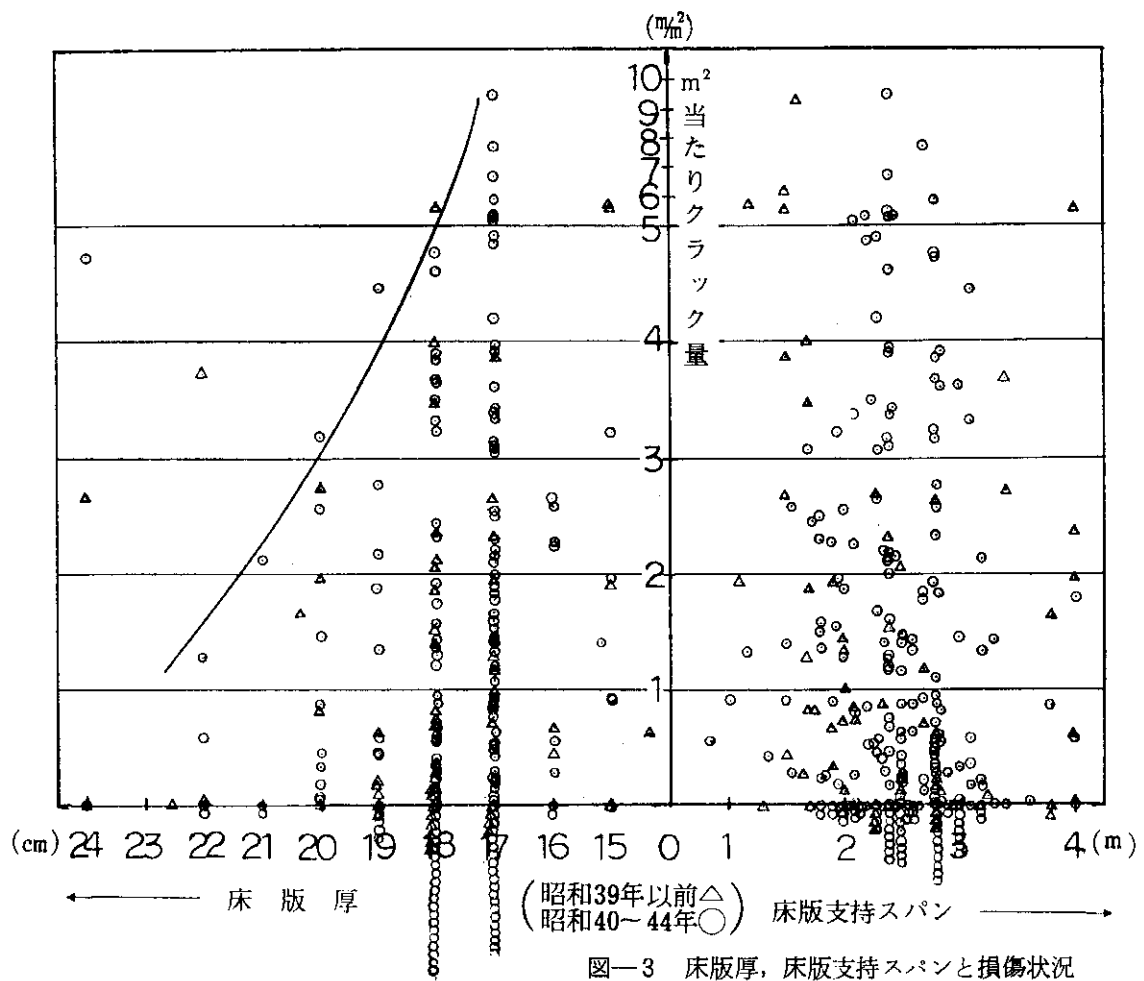
$\frac{m}{m^2}$ クラック延長	39年以前架設の橋梁		40年～44年架設の橋梁		果 計	
	橋	%	橋	%	橋	%
0 ～ 1	54	65.9	143	60.6	197	62.0
1 ～ 2	10	12.2	35	14.8	45	14.2
2 ～ 3	9	11.0	20	8.5	29	9.1
3 ～ 4	3	3.7	20	8.5	23	7.2
4 ～ 5	1	1.2	9	3.8	10	3.1
5 ～ 6	3	3.7	5	2.1	8	2.5
6 ～ 7	0	0	1	0.4	1	0.3
7 ～ 8	0	0	1	0.4	1	0.3
8 ～ 9	0	0	1	0.4	1	0.3
9 ～ 10	1	1.2	1	0.4	2	0.6
10 ～ 11	0	0	0	0	0	0
11 ～ 12	1	1.2	0	0	1	0.3
計	82	100	236	100	318	100
調査対象橋数	170		318		488	



図—1 損 傷 状 況 の 頻 度 分 布



図—2 北 海 道 の 自 動 車 保 有 台 数 の 推 移
(運輸省陸運統計要覧)



版厚 $= (3\ell + 11)\text{cm}$ 以上； ℓ = 支持スパン m] によれば床版支持スパンが 2.35m 以上であれば 19cm 以上の床版厚が必要となり、したがってほとんど床版厚が薄い状況にある。これらの損傷状況との関係は、床版支持スパンについては、明確な相関があるとはいいがたいが、床版厚については、やはり床版厚が薄いものの方が損傷状況が悪化しているものが多い傾向にある。そして、建設省の調査資料によれば、補修補強床版の再損傷率が床版厚 16.9cm 以下では非常に高い値を示しているの、床版厚の損傷に対する影響度は比較的高いといえそうである。

床版に発生する曲げモーメントは床版支持スパンに関係し、床版の剛性は床版厚に関係するので（床版厚／床版支持スパン）に対する損傷状況の関係を調べてみた。しかし、これも図—4に示すように明確な相関があるとはいいがたい。

(3) (配力鉄筋量／主鉄筋量)と損傷状況

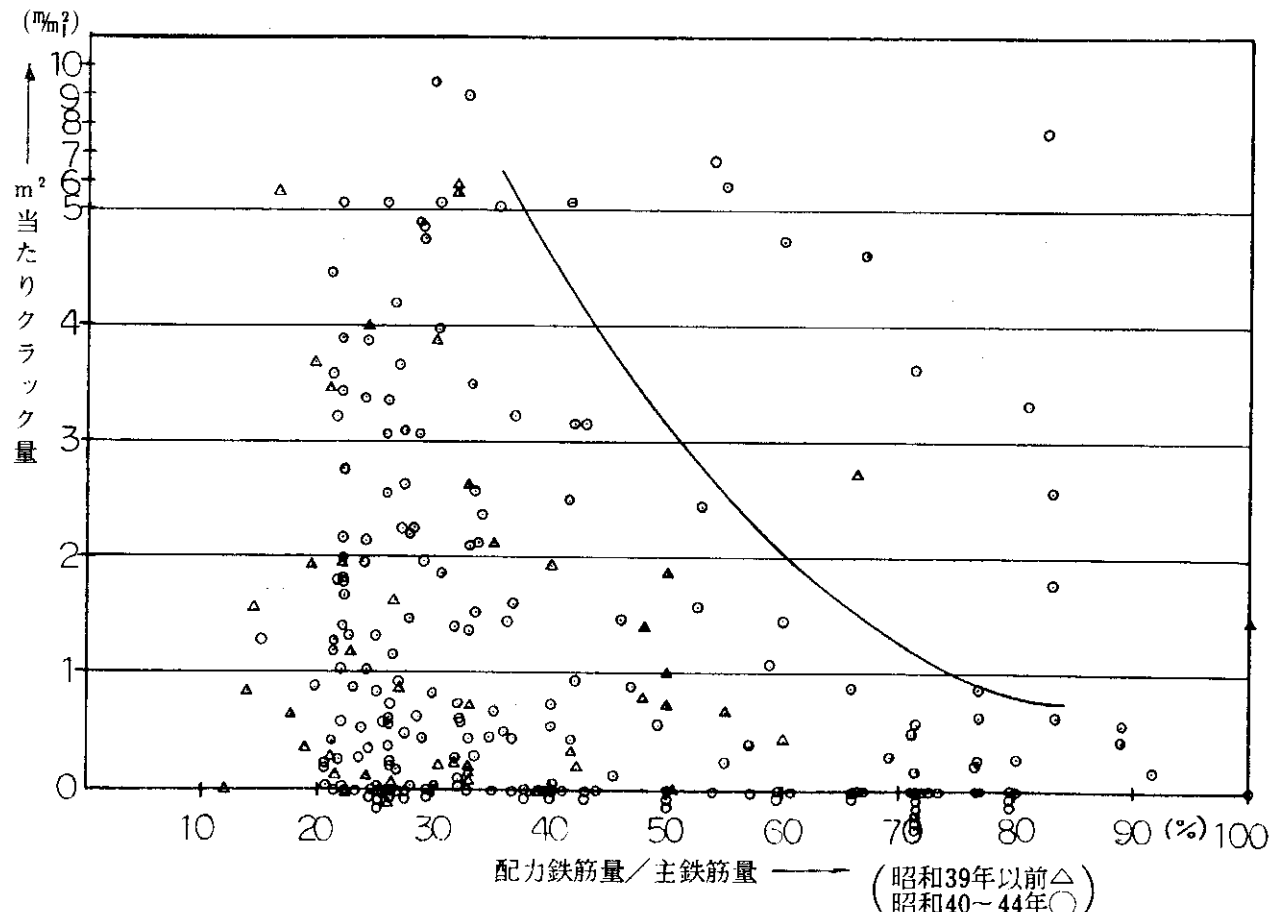
昭和39年以前の示方書では、配力鉄筋量が少ないことが指摘されており、したがって配力鉄筋量の影響度を調べるために図—5を作成した。これによれば、表—7の床版損傷ランク中期状態(m^2 当たりクラック量 $2.0\text{m}^2/\text{m}^2$)以上の割合が(配力鉄筋量／主鉄筋量)の値に対し、

(配力鉄筋量／主鉄筋量) 25%未満	—28.6%
(配力鉄筋量／主鉄筋量) 25～50%	—27.9%
(配力鉄筋量／主鉄筋量) 50～75%	—14.9%
(配力鉄筋量／主鉄筋量) 75%以上	—13.6%

となっている。これは配力鉄筋量が少ないほど損傷率が高いことを示しており、やはり配力鉄筋量の不足は損傷に大きな影響度をもっているといえる。しかし、配力鉄筋量が多くても損傷が発生している場合もあるので、配力鉄筋量の増加は必要ではあるが、それだけでは十分とはいえない。

(4) 実働輪荷重を受けた鉄筋コンクリート床版の状況

鉄筋コンクリート床版は、引張部コンクリートが無効の状態設計されており、計算上は当然クラックが発生することになる。写真—1は、供用後約20年経過した鉄筋コンクリート床版下面のクラック状況で、この床版では目視可能なクラックは写真中央右寄りの上から下へ走っているクラック幅 0.1mm 程度のもの一筋だけであったが、表面を下地処理した後、水拭きをすると、目視不可能な微小クラックにも毛管現象により吸水され写真のような 5cm 前後の亀甲状クラック状態を呈した様子を示すものである。この写真から明らかなように、鉄筋コンク



図—5 (配力鉄筋量／主鉄筋量)と損傷状況



写真—1 床版下面のクラック状況

リート床版のコンクリートは、繰返し荷重を受けることにより目視可能なクラックの他にも、微小クラックが内部的に亀甲状分裂構造を形成し、やがてこの微小クラックのクラック幅が徐々に増大し、床版の耐荷力を低下させ、最終的にコンクリートが崩壊に至るものと想像され

る。

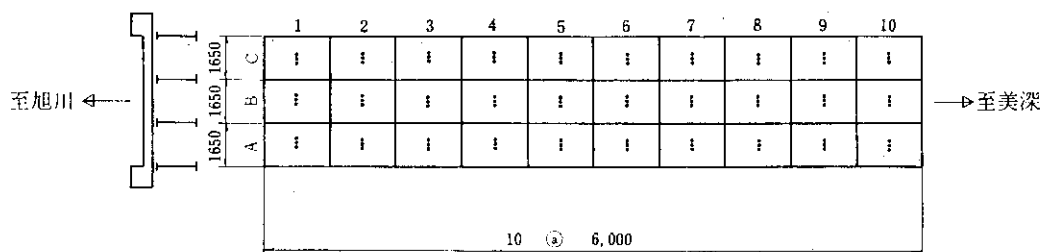
以上のように、単一の因子だけを抽出して調査してもなかなか明確な傾向を把握することはむずかしく、結局表—3にきとめられている荷重条件、構造条件、施工条件の諸要因が鉄筋コンクリート床版の損傷に複雑に影響しあっているようであり、構造条件においては、一般的に床版厚、配力鉄筋量の影響度が比較的大きいようである。

3. 載荷試験結果からの床版の損傷状況と耐荷力について

北海道開発局では、過去の昭和47年、48年、49年の技術研究発表会において、実橋床版の載荷試験をとおして打ち換え工法、補修補強工法（鋼板接着工法、FRP層接着工法）の効果について論じてきた。それによれば、床版の剛性は、補修補強後は一般的に2割～4割程度の増強が期待でき、補修補強時期が手遅れにならない状態の場合には十分有効であることが判明している。

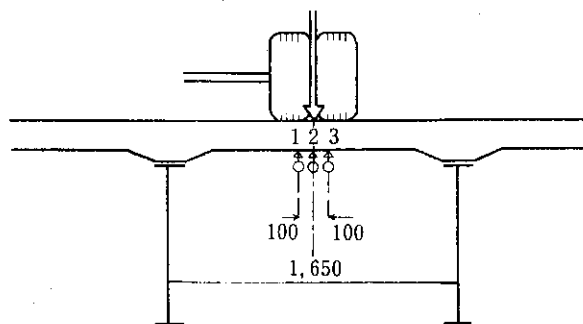
したがって、補修補強対策を講ずる適切な時期が問題となり、その判断資料として床版の損傷状況と耐荷力の関係（傾向性）をつかむことが必要になる。その一資料として、昭和50年度に実施した一般国道40号線美深地内に架設されている恵深橋の載荷試験結果を報告し、床版の損傷状況と耐荷力について若干の考察を加える。

(1) 載荷試験の概要



図—6 測定箇所

恵深橋は、幅員6.0m、橋長334.24m（鋼単純ワーレントラス2@60.0m、鋼単純鉄けた橋26.28m + 7 @26.55m）架設年月：昭和31年11月、昭和14年示方書による1等橋であり、昭和48年度に鉄けた部床版を鋼板接着工法により、昭和49、50年度にトラス部床版をFRP層接着工法により補修補強を実施した。今回の載荷試験は、昭和50年度FRP層接着工法により施工した最も旭川付きのトラス部（ $l=60\text{m}$ 区間）において実施した。床版の剛性はたわみによって把握できるので、図—6に示す縦げたと横げたで囲まれた範囲（30パネル）を想定し、そ



図—7 載荷位置と測定位置

表—6 m^2 当たりクラック量と実測たわみ値

	m^2 当たりクラック量(m/m^2)	補修前たわみ(mm)	補修後たわみ(mm)		m^2 当たりクラック量(m/m^2)	補修前たわみ(mm)	補修後たわみ(mm)
A 1	2.77	0.29	0.12	B 6	3.70	0.09	0.05
A 2	3.45	0.24	0.07	B 7	3.42	—	0.00
A 3	3.45	0.11	0.10	B 8	4.90	0.37	0.17
A 4	2.92	0.16	0.16	B 9	7.20	0.19	0.16
A 5	4.63	0.19	0.10	B 10	5.50	0.37	0.10
A 6	3.68	0.17	0.12	C 1	2.16	0.14	0.16
A 7	3.20	0.24	0.12	C 2	4.37	0.26	0.15
A 8	5.09	0.38	0.17	C 3	3.06	0.25	0.20
A 9	6.02	0.33	0.28	C 4	1.86	0.15	0.13
A 10	5.80	0.17	0.05	C 5	3.15	0.29	0.19
B 1	3.36	0.08	0.09	C 6	2.99	0.42	0.19
B 2	3.66	0.21	0.09	C 7	4.13	0.21	0.25
B 3	3.22	0.09	0.09	C 8	5.17	0.32	0.12
B 4	2.20	0.09	0.04	C 9	6.82	0.60	0.35
B 5	3.23	0.17	0.04	C 10	5.22	0.42	0.13

のパネルの中央位置に荷重車の後輪を載荷し、その直下のたわみを測定した。たわみはダイヤルゲージで測定し、載荷点直下において載荷位置誤差なども考え、図—7のように、幅員方向に10cm間隔に3点取付け、その平均を測定値とした。載荷重量はほぼT—20（後輪荷重8t）に近似しているので輪荷重8tとして実測値を修正し表—6に示した。また、表—6の m^2 当たりクラック量は、床版下面の目視可能なクラックを床版全面について

調査し、その資料から測定位置を中心として橋軸方向の影響範囲を考慮して橋軸方向に床版支持スパン=1.65m、幅員方向に縦げた上フランジ接地面を除いた1.4m、したがって、 $1.65 \times 1.4 = 2.31 \text{m}^2$ の面積で、その範囲に含まれるクラック延長を除して算出したものである。

(2) 測定結果および考察

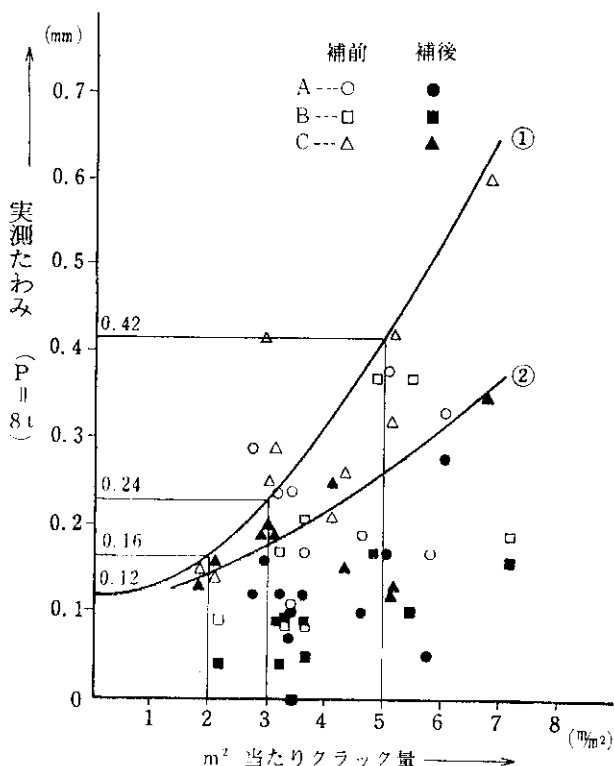
以上のようにして求めた測定箇所(A1～C10)の m^2 当たりクラック量とたわみ値を表—6に示した。それらを図示すると図—8のような分布を示した（橋軸方向1.65m $\times$ 2=3.30mの範囲の平均的 m^2 当たりクラック量と実測たわみの関係についても調査したが図—8と大差がなかった）。この図から次のようなことがわかる。

イ、分布状態から、①線：補修前、②線：補修後のたわみ値の上限傾向線を引くことができ、 m^2 当たりクラック量とたわみ（床版の剛性）との間には相関がある。

ロ、①線、②線より補修補強効果が明白であり、損傷が軽い（クラック量が少ない）場合より損傷が悪化している（クラック量が多い）場合の方が補修補強前に比し剛性の増加が顕著である。

ハ、 m^2 当たりクラック量が同じでも実測たわみ値にはかなりの幅がある。これには各種の原因があるかと思われるが、同じ m^2 当たりクラック量を有していても、そのクラックの幅、深さなどの差異が影響してくるものと考えられる。したがって、クラック量が相当多くてもそれがヘアークラックの状態であれば、耐荷力の低下はそれほどないものと思われる。したがって、線①はある損傷程度（ m^2 当たりクラック量）における床版の剛性低下の可能性域を意味すると解することができよう。

この関係と後に掲載している表—7の損傷ランクとを



図—8 実測たわみと m^2 当たりクラック量との関係

対比してみると、

㎡当たりクラック量

- イ) 初期状態 (2.0m/㎡以下) — 剛性の低下度ほぼ 1
 - ロ) 中期状態(3) (2.0~3.0m/㎡) — 剛性の低下度 $1 \sim \frac{1}{2}$
 - ハ) 中間状態(4) (3.0~5.0m/㎡) — 剛性の低下度 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$
 - ニ) 末期状態 (5.0m/㎡以上) — 剛性の低下度 $\frac{1}{4}$ 以下
- という結果を得る。

参考までに、他の調査研究によれば、上と同じような

(3) 一般論への拡張

次に(2)で述べた損傷状況と耐荷力の関係を各種条件を持つ場合に拡張して考えてみる。一般的傾向を調べるためたわみの理論値を求め、それを図示したものが図—10である。以下に図—10の説明をする。

イ. 理論値の計算

鉄筋コンクリート床版(単純版の場合)を『相対する2辺で単純支持された無限版に部分的長方形等分布荷重を受ける直交異方性版』と仮定して理論値を求める。

(理論式)

直交異方性版のたわみに関する偏微分方程式

$$N_x \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + N_y \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = q(x, y)$$

鉄筋コンクリート床版の場合

$$N_x = \frac{E_c}{1 - \nu_c} I_x, N_y = \frac{E_c}{1 - \nu_c} I_y, H = \sqrt{N_x N_y}$$

とする。

この時、輪荷重をフーリエ級数展開し、版の境界条件を考慮して解くと、たわみ ω は $y < d$ の時

$$\mu = \sqrt[4]{\frac{N_y}{N_x}}, \quad r = \frac{a\mu}{\pi} \quad \text{とおけば}$$

$$\omega = \frac{Pa^4}{2\pi^5 N_x c d} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \left[2 - \left(2 + \frac{n}{r} d \right) \cosh \frac{n}{r} y - \frac{n}{r} y \sinh \frac{n}{r} y \right] e^{-\frac{n}{r} d} \times \sin \frac{n\pi c}{a} \cdot \sin \frac{n\pi u}{a} \cdot \sin \frac{n\pi x}{a} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

- ω ; たわみ q ; 荷重強度 ν_c ; ポアソン比 E_c ; 弾性係数
- I ; 断面2次モーメント a ; 床版支持スパン μ ; 載荷位置
- c, d ; 輪荷重分布幅

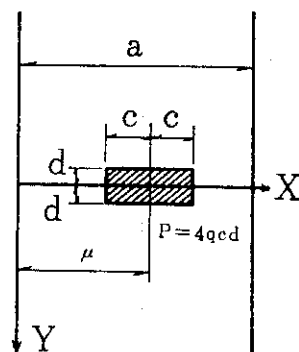
となる。

以上の式および以下の条件を用いて床版支持スパン中央に輪荷が載荷された場合の最大たわみ曲線、線(Ⅰ)~線(Ⅴ)を描いた。

イ) 線(Ⅰ)

対象とする床版の断面は以下の条件で設計する。a. 床版支持スパンL(m)に対し床版厚は現行道路橋示方書の最小全厚の規定(連続版)より(3L+11)cm……(少数点以下切り上げ)とした。b. 主鉄筋のかぶり厚は3cm, 配力鉄筋のかぶり厚は4.45cm — 主鉄筋φ16, 配力鉄筋φ13を使用するとして——とした。c. 鉄筋量は、圧縮側には引張側の1/2を配置し、主鉄筋量については所要量を計算し、配力鉄筋量については主鉄筋量の25%とした。d. アスファルト舗装5cm厚, 床版コンクリート(3L+11)cm厚の死荷重を考慮。e. $\sigma_{ca} = 60\text{kg/cm}^2$, σ_{sa}

損傷状態の場合の剛性の低下度を、a) = $1 \sim \frac{1}{2}$, b) = $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$, c) = $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{10}$, d) = $\frac{1}{10}$ 以下となり、やはり床版の損傷状況により床版剛性がかなり低下するという報告もある。この報告と上述の結果とは、調査橋梁の損傷状況の差違(㎡当たりクラック量が同じでもクラック幅、深さなど)が異なるなどによるものと思われ、本調査橋梁も、クラック幅や深さが増々悪化すれば、同じ㎡当たりクラック量でもさらに耐荷力は低下するものと考えられる。



図—9 部分的長方形等分布荷重を受ける直交異方性版

= 1,400kg/cm², f. 設計曲げモーメント, 衝撃係数は既設橋の場合を考えるので昭和39年示方書によった

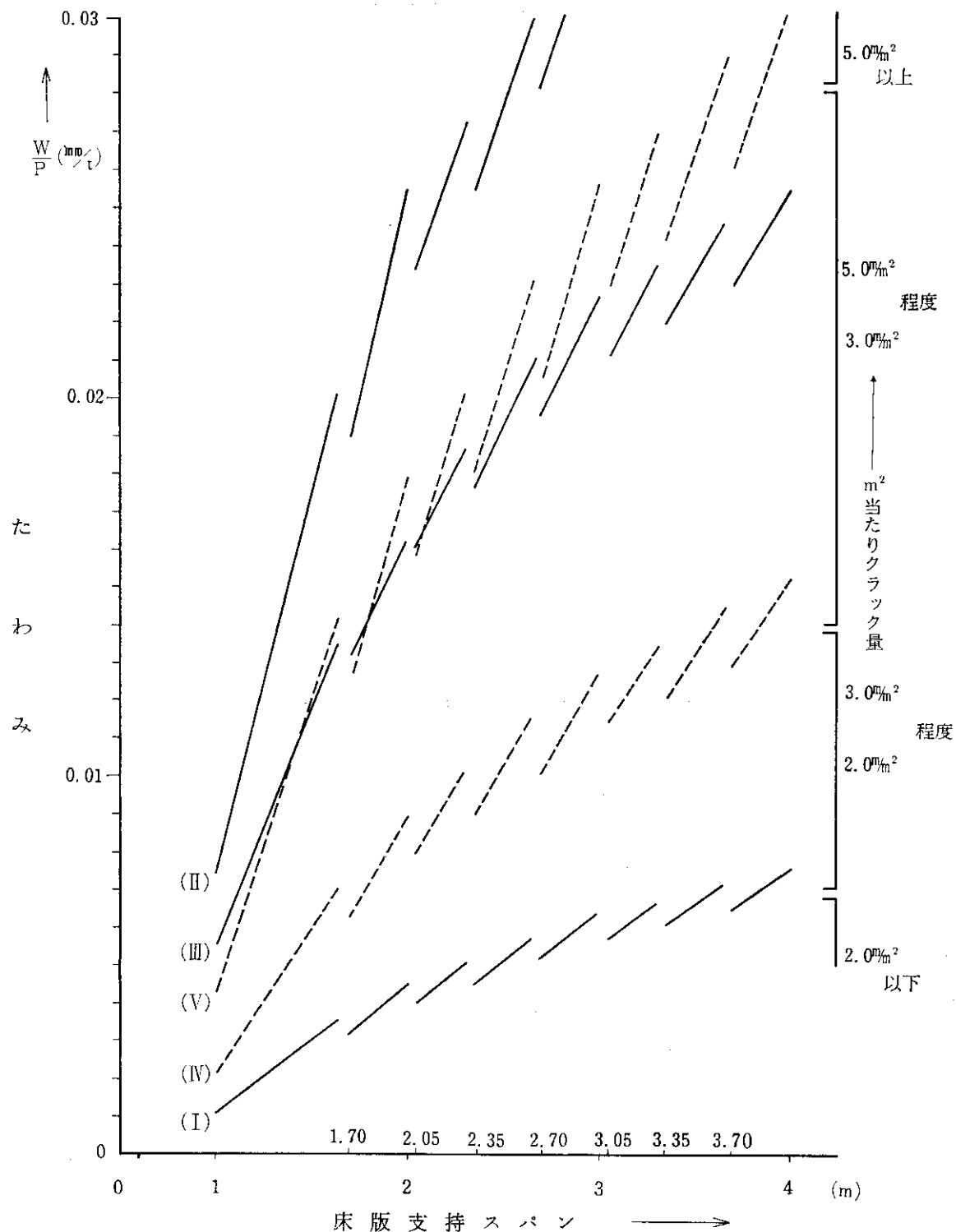
以上の条件で設計された床版に対し、(1)式を用いて弾性係数比 $E_s/E_c = 7.0$ とし、かつ全断面有効として求めた理論値である。

ロ) 線(Ⅱ)

イ)と同様の条件で設計された床版に対し、引張部コンクリートが無効として求めた理論値である。

ハ) 線(Ⅲ)

対象とする床版の断面の設計条件、はa., b, d, についてはイ)と同様であるが、c. 鉄筋量は、圧縮側には引張側の1/2を配置し、主鉄筋、配力鉄筋とも所要量を計算、e. $\sigma_{ca} = 70\text{kg/cm}^2$, $\sigma_{sa} = 1,400\text{kg/cm}^2$, f. 設計曲げモーメントは現行道路橋示方書により、かつ大型車1



図—10 床版支持スパンとたわみとの関係

日1方向当たり1,000台以上として、設計曲げモーメントを20%増とした。以上の条件で設計された床版に対し、(1)式を用いて弾性係数比 $E_s/E_c=15.0$ とし、かつ引張部コンクリート無効として求めた理論値である。

ニ) 線(IV), 線(V)

線(IV)は線(I)の2倍, 線(V)は線(I)の4倍の線である。

ロ. 理論値と損傷状況との関係

以上より、線(I)は、損傷のない健全な床版の場合のたわみを示し、そして床版のクラックが発生進行していった場合、徐々に床版は引張部無効の挙動つまり線(II)に近づき、ついにはこの線以上のたわみ値を示すに至る。線(III)は、現行道路橋示方書の規定上満足されな

ればならない(少なくともこの程度の断面剛性を有しななければならない)限界線である。これらの線と前述した床版の損傷状況と剛性の低下度の関係を比較するために描いたのが線(Ⅳ)、(Ⅴ)である。この場合、線(Ⅲ)と線(Ⅴ)がほぼ一致しており、一般的に耐荷力的に見ても損傷状況(m^2 当たりクラック量) $5.0\text{m}/\text{m}^2$ 程度が少なくとも限界域であろうと考えられる。(しかし、この場合前述したように、クラック幅、深さなどの影響により、その程度が進行していれば、もちろん m^2 当たりクラック量 $3.0\sim 5.0\text{m}/\text{m}^2$ 程度も上記で想定する耐荷力上の限界域ともなり得るわけである。)

このように、床版の損傷状況は耐荷力に非常に大きな影響を及ぼしその影響度について、以上のような一考察が成立しそうである。

以上の観点および床版コンクリートの脱落という現象面から見て、当然のことながら m^2 当たりクラック量が多くなるほどコンクリートが細分化され、耐荷力の低下ならびに床版コンクリートの脱落の危険性が高くなるので、その一つの目安として限界域を $5.0\text{m}/\text{m}^2$ 程度に置くこととし、その他、クラック幅、床版コンクリートの劣化度などを考慮して床版の損傷程度の把握に関して、表一7、表一8を作成した。

また、図一10については単純版の場合であって、通常多い連続版の場合のたわみは、道路橋示方書の考え方を導入し、固定度を0.8とすれば、図一10のたわみの各値は7割程度になる。

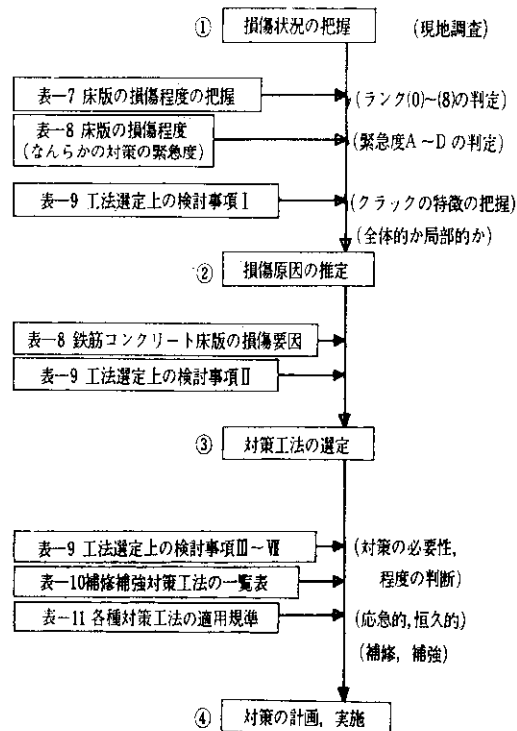
4. 鉄筋コンクリート床版の補修補強の考え方

以上述べてきたように、鉄筋コンクリート床版の耐荷力面および床版コンクリートの脱落という現象面から見て、補修補強の対策時期について一応の目安を得、表一8床版の損傷程度(なんらかの対策の緊急度)にまとめた。しかし、数多い橋梁においてはその他各種の条件が異なり、補修補強の判断は単純にはできがたい。とくに、道路管理においては、橋梁の維持点検は橋面上のパトロールだけでは不十分であり、かといって橋床版下面を克明に調査することは、点検がきわめてやりにくいために多大の労力が必要となり、調査資料が不十分となる場合が多いようである。しかし、道路(その中でも橋梁)の維持管理はなににも増して、経済活動(人々の生活)に直接影響を及ぼしがちであるので、できるだけ先行的な対策を講ずる方向の考え方が好ましいといえる。

以下に鉄筋コンクリート床版の維持管理、補修補強の考え方についてまとめる。

(1) 鉄筋コンクリート床版の補修補強に対する検討事項

鉄筋コンクリート床版の補修補強については、図一11



図一11 補修補強に対する検討フローチャート

のフローチャートに示すような各項目について検討する必要がある。

まず、損傷状況の把握については、対象とする床版の損傷実態が表一7の損傷ランクのどの程度に位置するかを明確にする。しかし、表一7は、一般的にいわれている典型的な床版の損傷状況を示すものであって、例えば、浸出物やコンクリートの劣化がまったく見受けられないにもかかわらず突然床版コンクリートが脱落した例も数多い。したがって床版の損傷に関しては、表一8のように、 m^2 当たりクラック量、クラック幅、浸出物の有無(クラック深さ、履歴に係る)の3つのパラメーターによって損傷程度ならびにそれに対するなんらかの対策の緊急度の判断を行うのが合理的であると考えられる。表一8においては、 m^2 当たりクラック量とクラック幅との関係もしくは m^2 当たりクラック量と浸出物の有無との関係のどちらか一方の条件の悪い方で対策の緊急度の判断をすべきである。また、これらの各緊急度に該当する個所が橋床版全体に対してどの程度の率に相当するかを明確にし、対策を局部的にするか、全体について行うかの判断資料とする。このほかにクラックの発生方向など特徴的なことはないかを調査する。

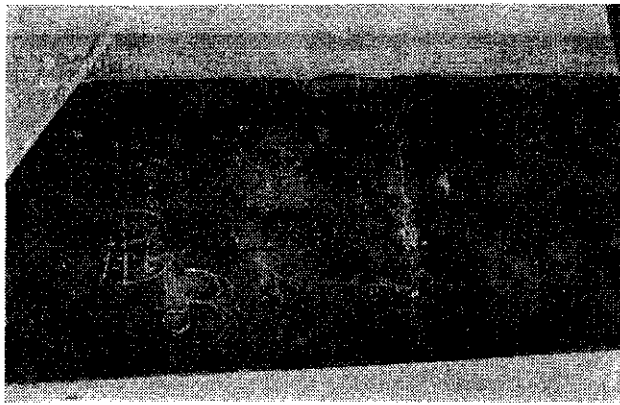
次に損傷原因の推定のために、表一9のⅡに示されている事項を調査し、クラック発生状況とあわせて損傷原因と考えられる事項を極力是正する方向で対策を考える。

対策工法の選定に対しては、表一9のⅢ~Ⅵの床版の

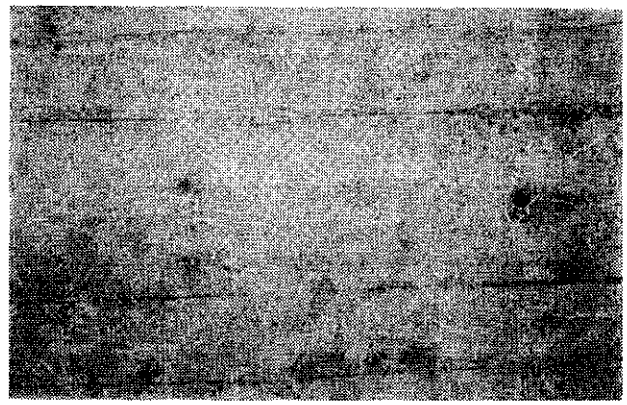
表-7 床版の損傷程度の把握

損傷 ランク	一般的なクラックの進行外観状況	クラック程度			要・要	備考
		幅	間隔	ランク(0)に対する床版剛性		
(0)	クラックなし。				1	不要
初期状態	一方のクラック(主鉄筋方向または配力鉄筋方向)が散在する。	0.1mm以上	主げた間隔以上	0.5m/m ² 以下	1	不要
(1)	一方のクラック(主鉄筋方向または配力鉄筋方向)が散在する。	0.1mm以上	主げた間隔以内	2.0m/m ² 以下	1	遊離石灰が見えるときは舗装面に注意
(2)	二方向のクラック(主鉄筋方向および配力鉄筋方向)が発生する。	0.1mm以上	主げた間隔部分的に0.5m程度	3.0m/m ² 以下	1	場合によっては要
中期状態	クラックが継がり、亀甲状クラックへと近づく。	0.1mm以上	全体的に0.3~0.5m程度	3.0~5.0m/m ²	1/2 ~ 1/4 程度	この程度から床版剛性が著しく低下して行くので注意深い観察が必要
(3)	クラックが亀甲状となり、間隔が狭くなる。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ程度	5.0m/m ² 以上	1/4 以下	要
(4)	クラック幅が比較的大きな箇所が多くなり、クラック部コンクリートのすべり角落ち、そしてコンクリートの小はく離などが見られるようになる。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ程度	0.5m/m ² 以上	1/4 以下	なんらかの交通規制が必要
末期状態	かぶりコンクリートが部分的に落下、床版の路面の陥没があり、床版が脱落寸前の状態となる。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ程度	5.0m/m ² 以上	1/4 以下	交通上きわめて危険な状態である。
(5)	完全に床版コンクリートが脱落した状態。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ程度	5.0m/m ² 以上	1/4 以下	交通止めをし、緊急に応急処置を行う。
破壊状態						

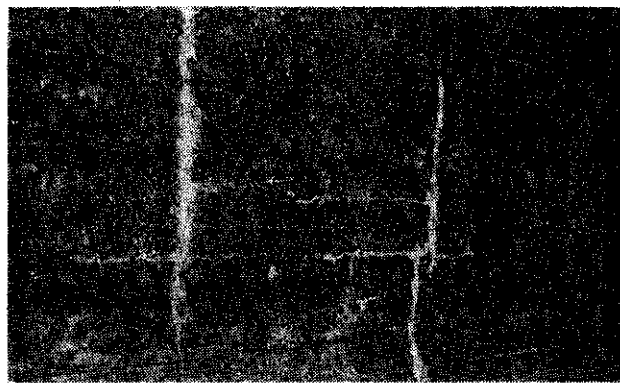
※ クラックの幅は目視できる程度のクラックということと0.1mm以上とした。 ※ m²当たりクラック量は調査箇所のクラック延長を純面積で除した値とする。



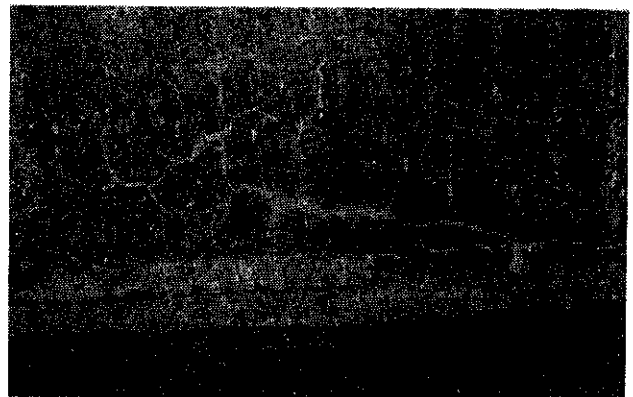
写真—2 損 傷 ラ ン ク 1



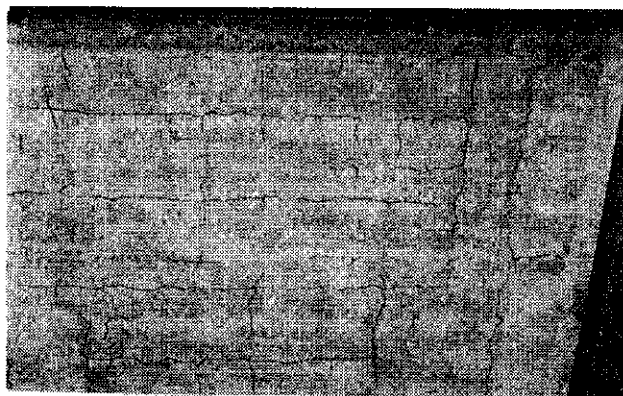
写真—6 損 傷 ラ ン ク 5



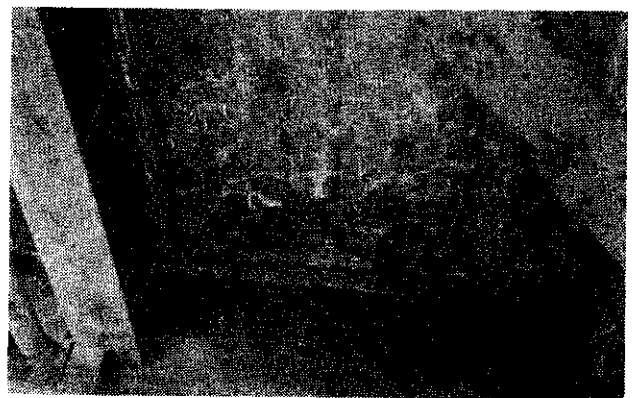
写真—3 損 傷 ラ ン ク 2



写真—7 損 傷 ラ ン ク 6



写真—4 損 傷 ラ ン ク 3



写真—8 損 傷 ラ ン ク 7



写真—5 損 傷 ラ ン ク 4



写真—9 損 傷 ラ ン ク 8

表—8 床版の損傷程度（なんらかの対策の緊急度）

ク ラ ッ ク 幅	e	ほとんどかなり大きめのクラック（0.3～0.4mm程度）であり、ところどころすりへり、角落ちも見受けられる。	D	B	A	A	A
	d	ほとんどかなり大きめのクラック（0.3～0.4mm程度）である。	D	C	B	A	A
	c	ほとんど多少大きめのクラック（0.2mm程度）であるが部分的にかなり大きめのクラック（0.3～0.4mm程度）が見受けられる。	D	C	B	B	A
	b	ヘアークラックの他に、部分的に多少大きめのクラック（0.2mm程度）が見受けられる。	D	D	C	B	A
	a	すべて0.1mm以下のヘアークラックである。	D	D	C	C	B
㎡ 当 た り ク ラ ッ ク 量			0.5m/㎡ 以 下	0.5m/㎡ 2.0m/㎡	2.0m/㎡ 3.0m/㎡	3.0m/㎡ 5.0m/㎡	5.0m/㎡ 以 上
浸 出 物 の 有 無	a	クラック部に遊離石灰、泥状物質、浸透水などの浸出物は見受けられない。	D	D	C	C	B
	b	クラック部全体に対し、部分的にうすく（少量の）浸出物が見受けられる。	D	D	C	B	A
	c	クラック部全体に対し、部分的に濃く（多量の）浸出物が見受けられる。	D	C	B	B	A
	d	クラック部全体にうすく（少量の）浸出物が見受けられる。	D	C	B	A	A
	e	クラック部全体に濃く（多量の）浸出物が見受けられる。	D	B	A	A	A

ここに、損傷程度もしくはなんらかの対策の緊急度は、
 （A；緊急に対策が必要 B；できるだけ早期に対策が必要 C；定期的観測が必要
 D；対策必要なし、を意味する。）

損傷状況外の重要な条件、ととくに交通処理の問題と、今後の対象橋梁の重要性について留意し、対策を応急的（数年）にするか恒久的（10年以上）にするか、補修でよいのかそれとも補強にするかという基本的姿勢を明確にした後、各種対策工法の特徴を勘案して対策を決定する。各種対策工法の特徴は表—10に示した。これらの表—10の各種対策工法は、対策を講ずる時期との関連が大切であり、その対策時期により、工事が大がかりになるかそれとも比較的簡単に処理できるか、また同じ対策を講じても恒久的な効果を期待できるか、それとも応急的な効果しか期待できないかに区別され得る。したがって補修補強の確実性および対策時期を考慮して表—11を作成した。しかし、これらの対策工法は単独で施工されることはむしろ少なく、とくに(9)グラウト注入工法、(10)防水工法は、基礎的な処理として他の工法と併用されることが多い。

一般的に、以上の工法の中では、打ち換え工法は別にして、その時点ではどうしても補修補強工法しか不可能ということであれば、鋼板接着と縦げた増設工法の併用が現在考えられている工法の中では最も確実な工法といえる。

参考として、昭和50年度の建設省の全国的な調査で

は、床版の補修補強を実施した橋梁について回収分の330橋の施工実施例では、鋼板接着工法(181橋)、縦げた増設工法(63橋)、打ち換え工法(全面31橋)、(部分23橋)、鋼床版変更工法(12橋)、鋼製床版変更工法(2橋)、グラウト注入工法(18橋)となっており、(その他の工法については未調査)前3者で90%を占めている。以上述べた各事項を十分検討して対策を決定し、詳細設計、施工に移る。

(2) 建設省技術研究会の各補修補強工法に関する指摘事項

建設省による補修補強後の再損傷調査から得た指摘事項を列挙する。

イ. 鋼板接着工法の施工件数が最も多く全体の半分以上を占めている。再損傷の件数は他と比較して少なく現段階では一応安定した工法といえる。

ロ. 縦げた増設工法は、鋼板接着工法に次いで多く用いられているが、再損傷件数はかなり多い。この工法を適用する場合は、支持げた間の不等沈下の影響を考慮するとともに、配力鉄筋方向の補強効果を十分確認しておく必要がある。

ハ. 全面打換工法は、現行示方書で設計する以上問題がない。また、鋼床版へ変更したものの損傷の発生

表-9 工 法 選 定 上 の 検 討 事 項

検 討 事 項		摘 要
I. 損 傷 状 況 の 把 握	イ. クラック状況	a) クラックの位置, 方向, 間隔, 密度, 幅, 深さ b) 床版全体か局部的か c) 浸出物の有無 d) 輪荷重通過時の床版の挙動
II. 損 傷 原 因 の 推 定	(1) 荷 重 条 件	イ. 交通荷重の状況 a) 大型車の交通量および重量 b) 輪荷重の通行軌跡と支持げたとの関係
	ロ. 路面の状況	a) 舗装の平坦度 b) 伸縮継手の状況 c) 舗装面のクラック状況
	(2) 構 造 条 件	イ. 適用示方書, 等級
	ロ. 床版の条件	a) 支持条件(単純版, 連続版, 片持版の別) b) 主鉄筋の方向(車両進行方向に直角か平行か) c) 辺長比(1方向版, 2方向版の別) d) 縁端条件(自由縁の有無) e) 支持げたの剛性 f) 荷重分配横げたの有無, 剛性, 間隔 g) 床版支間 h) 床版厚 i) 鉄筋量 j) 鉄筋, コンクリートの許容応力度
	ハ. 舗装の条件	a) 種類 b) 厚さ
	ニ. 橋梁形式	a) とくに合成非合成の別
	(3) 施 工 条 件	イ. 材料 a) コンクリート材料の品質
	ロ. 施工方法	a) コンクリートの配合 b) 型枠の状態 c) 打設方法, 順序, 打継目の処理 d) 締固め e) 養生方法 f) 鉄筋の配置 g) 床版厚 h) かぶり厚
	(4) 環 境 条 件	a) 凍結融解作用の有無 b) 汐風の影響, 化学作用など
	(5) そ の 他	イ. 橋歴 a) 架設年月 b) 補修補強歴
III. 交 通 関 係 の 問 題	イ. 現在交通量の質	
	ロ. 交通処理の問題	a) 可能な交通規制の内容 b) 工事中の迂回路設定の可否 c) 橋面けた下空間の交通処理
IV. 改 修 計 画	イ. 耐用年数 ロ. 架替, 拡幅, バイパス計画 ハ. 他事業との関連	a) 河川改修, 鉄道複線等との関連
V. 効 果 と 施 工 性	イ. 期待する補修補強の程度 ロ. 現地での施工の可否 ハ. 本体その他への影響 ニ. 作業の安全性と施工管理 ホ. 周囲の生活環境への影響	a) 応急的か, 恒久的か
VI. 経 済 性 と 維 持 管 理	イ. 工事費 ロ. 将来的な維持, 管理	
VII. そ の 他		

表—10 床 版 損 傷 対

	工 法	概 要	長 所
打ち換え、置き換え工法	(1) 床版打ち換え工法	a) 既設の床版を取除き、現行道路橋示方書に従って、新しく床版を設計施工する b) 損傷の状態によって全面打ち換え、部分打ち換えを考慮する c) 場所打ちコンクリートに軽量コンクリートの使用およびその他プレキャスト床版の使用も可能 d) 鋼板接着、縦げた増設工法に続いて施工例が多く、現在までの施工例では、(1)、(3)、(4)の3工法がほとんどを占めている	a) 一番確実な方法である b) 交通処理が容易である場合には、工事費が他の方法に比し廉価である
	(2) 鋼床版変更工法	a) RC床版を鋼床版に置換し、恒久的に床版の耐力を向上させる b) 主構造の種類によっては、鋼床版と主構造を結合して、主構造の耐力の向上をはかることも可能	a) 床版の全面打ち換えと同様に確実な方法である b) 場合によっては、道路を供用しながら施工が可能 c) 工期の短縮ができる
補 強 工 法	(3) 鋼板接着工法	a) 床版コンクリートの引張縁に鋼板(4.5~6.0mm)厚を接着し、既存のコンクリート床版と一体化させ、活荷重に対する抵抗力を増す b) コンクリートと鋼板の接着には、エポキシ系の樹脂が用いられるが、この場合の接着の方法に圧着法と注入法がある c) クラックの状態に応じて、細幅、広幅鋼板の使い分けを考慮する d) 現在まで他の工法に比し適用例が最も多く、施工後の再損傷率は最も少ない状況にある	a) 損傷があまり進行していない床版の補強に適している b) 鉄筋量の不足している床版の補強に適している c) 道路を全面供用しながら施工可能(しかし、樹脂の硬化までは、少なくとも大型車の通行規制をしたほうがよい) d) 鋼床版による置き換えと比較して、補強材料も少なく、工事も大がかりにならない
	(4) 縦げた増設工法 (ストリンガー工法)	a) 既設の床版支持げた間に新たに1~2本の縦げたを増設し、床版支間を短くすることにより輪荷重による曲げモーメントを軽減しようとするものである b) 既設の床版支持げに対して増設縦げたの剛比の小さいものに施工後の再損傷が多いので、増設縦げたは、不等沈下の影響を考慮して十分な剛性を有するものを設計しなければならない c) 鋼板接着工法に続いて施工例が多い	a) 損傷があまり進行していない床版の補強に適している b) 道路を全面供用しながら施工可能
	(5) 鉄筋増設モルタル吹き付け工法	a) 床版コンクリートの引張縁に鉄筋、鉄筋網などを沿わせ、これにモルタルを吹き付けて既存の床版と一体化させ、床版厚と引張鉄筋量を増加することにより床版を増強する	a) 床版厚のうすい場合に有利
	(6) 床版上面コンクリートの重ね打ち工法	a) (5)とは反対に床版上面に鉄筋、鉄筋網などを沿わせ、コンクリートを打設する	a) 床版厚のうすい場合に有利
	(7) 荷重分配横げた増設工法	a) 対傾構、横構を補強し、荷重分配効果を高め、床版支持げたの不等沈下を減少させる	a) 道路を全面供用しながら施工可能
補 修 工 法	(8) FRP層接着工法	a) 床版コンクリートの引張縁にFRP(Fiberglass Reinforced Plastic, ガラス繊維を補強材とするプラスチックシート)を接着し、床版を補強する	a) 道路を全面供用しながら施工可能 b) 素材が柔軟なため、コンクリート面になじみやすく、軽量のため作業性にすぐれている
	(9) グラウト注入工法	a) 床版のクラック内にエポキシ系の樹脂(グラウト材)を注入し、コンクリートの一体化をはかるものである b) 他の工法と併用されることが多い	a) 道路を全面供用しながら施工可能 b) 床版の防水性、コンクリートの劣化、鉄筋の防錆効果を期待できる
	(10) 防水工法	a) 床版コンクリート上面の舗装を強化したり、塗布剤などにより防水する b) 他の工法と併用されることが多い	a) コンクリートの劣化、鉄筋の防錆効果を期待できる

策 工 法 の 一 覧 表

短 所	参 考 図
a) 全面打ち換えの場合、道路を全面閉鎖しなければならない b) 打ち換え後の床版厚の増加などで、主構造に対する死荷重応力が大きくなる c) げた下の交通事情によっては、取りこわした床版コンクリートの処理が大変である d) 部分打ち換えの場合、旧床版との継ぎ目の処理が弱点になりやすく、注意が必要である	① 全面打ち換え ② 部分打ち換え
a) 現橋の床版を置換するので、設計、施工が非常に困難な場合がある b) 工費が一番高い	
a) 接着用樹脂の耐久性、安定した施工性に対する信頼性に不安がある b) 接着用樹脂が高価 c) 床版下面が鋼板で覆ってしまうので、施工後の内部変化の追跡が困難	※アンカーボルトは長めのものを使用する。 ① 注 入 法 ② 圧 着 法
a) 既設支持げたと増設げたの剛度があまり違うと不等沈下を生じ、あまり補強効果が上がらない b) 既設橋の支持げた床版下面の調査測量に相当の作業量を必要とする c) 床版と綫げた間に注入する樹脂が高価である d) 配力鉄筋方向の曲げモーメントの減少量が主鉄筋方向に比べて小さい	
a) モルタルが硬化するまで交通規制が必要である b) 既設コンクリートとの付着に不安がある c) 死荷重増加により主構造に対する死荷重応力が大きくなる	
a) 道路を全面閉鎖しなければならない b) 死荷重増加により主構造に対する死荷重応力が大きくなる c) 取付け道路にも影響が及ぶ	
a) 床版自体の補強ではないので、直接床版コンクリートの脱落防止とはならないので、他の工法と併用しなければならない	十分荷重分配を期待できる剛度とする。
a) 素材の弾性係数が小さい ($1.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$) ため補強効率は鋼板接着に及ばず、補強というよりは、床版の脱落防止という補修の感が強い	下地処理 樹脂 ガラスローピングクロス 樹脂 ガラスローピングクロス 樹脂 ガラスローピングクロス
a) 注入された樹脂は床版中のクラックに十分にきわたっているかどうか疑問である b) この工法だけでは、床版の耐力増強は期待できない	
a) ある程度の交通規制が必要	樹脂接着 防水層 コンクリート床版

表-11 各種対策工法の適用規準

工 法		損傷程度	A	B	C	D
打ち換え	(1) 床 版 打 ち 換 え					
	(2) 鋼 床 版 変 更					
補強工法	(3) 鋼 板 接 着	-----	-----	-----	-----	-----
	(4) 縦 げ た 増 設	-----	-----	-----	-----	-----
	(5) 鉄筋増設モルタル吹き付け	-----	-----	-----	-----	-----
	(6) 床版上面コンクリートの重ね打ち	-----	-----	-----	-----	-----
	(7) 荷重分配横げた増設	-----	-----	-----	-----	-----
補修工法	(8) F R P 層 接 着	-----	-----	-----	-----	-----
	(9) グ ラ ウ ト 注 入	-----	-----	-----	-----	-----
	(10) 防 水	-----	-----	-----	-----	-----

————— 恒久的対策 ———— 応急的対策

は見られない。

ニ、鋼製床版（例えば覆工板など）への変更は床組部材の損傷を発生しやすいのでさけるべきである。

以上のような指摘事項がある。

いずれにしても、鉄筋コンクリート床版の損傷は近年著しく増加してきた問題であり、全国的な補修補強の施工例もここ数年のものが多く、将来的な補修補強効果についての実績に乏しい点が指摘されるので、対象橋梁の補修補強後も追跡調査に注意を払うべきである。

あとがき

本文は北海道開発局における昭和44年以前架設の鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の損傷実態調査の概括報告、載荷試験結果を通じて床版の損傷状況と耐力力の関係について若干の考察を加え、その資料をもとに、鉄筋コンクリート床版の補修補強の考え方について述べた。鉄筋コンクリート床版の維持管理は、道路管理者にとって今後とも悩みのたねの一つであることは間違いなく、本文に述べた系統的考え方をもとにさらに検討を重ね、今後の指針作成に役立てたい。また、鉄筋コンクリート床版の損傷問題は、道路維持管理関係に携わっている者だけでなく、橋梁の建設関係に携わっている者も十分これらに関する問題点を理解し、今後とも鉄筋コンクリート床版については十二分の注意を払って設計施工をしていただきたい。

最後に、鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の損傷実態調査ならびに現場の実橋載荷試験に際し、多大の御協力を賜った各開発建設部の関係各位に深謝の意を表する。

参 考 文 献

1. 日本道路協会；道路橋に関する地区講習会講義要旨，昭和49年度
2. 建設省；橋梁の補強工法について，第29回建設省技術研究会，道路部門指定課題論文集，昭和50年11月
3. 国広哲男；道路橋床版の問題点，橋梁と基礎，1968年7月
4. 太田 実；点検，欠陥，判定，補修などー床版一，橋梁と基礎，1974年10月
5. 山本他2名；破損した床版の補修方法について，横河橋梁技報，1974年11月
6. 北海道開発局；道路橋の鉄筋コンクリート床版に関する調査研究及び補修補強工法について，第18回開発局技術研究発表会論文集，昭和50年8月
7. 建設省北陸地方建設局道路部道路管理課；鉄筋コンクリート床版補強補修について，昭和49年8月
8. 建設省土木研究所；土木研究所資料第979号，橋梁の補修補強工事追跡調査に関する報告書集，昭和49年11月
9. 近畿地方建設局；RC床版の損傷に関する実験報告書，昭和50年3月
10. 芳村，三上；矩形分布荷重を受ける直交異方性無限帯状板の曲げについて，土木学会北海道支部論文報告集，昭和51年2月
11. 国広哲男；橋りょうスラブのこわれ方，なおし方（その1）土木施工，1971年11月
12. 国広哲男；橋りょうスラブのこわれ方，なおし方（その2）土木施工，1971年12月
13. 運輸省；北海道の自動車保有台数の推移，陸運統計要覧