

V-9 月形大橋 車道コンクリート床版の耐力調査について

北海道庁 正員 横田 和明
北海道庁 正員 ○ 荒木 良悦

1. ま え が き

床版は橋面に加わる荷重を支え、直接または主桁を通じて下部構造に力を伝える役割を果たすものであり道路橋の設計計算に用いられる荷重は、一般に常時実際に加わる荷重より大きく規定されているため、最近における車両重量の増加に対しても、ある程度は耐える能力をもつものであるが、床版に対する設計荷重は実際に作用するものとほぼ等しい。したがって、交通量の増大による応力超過の頻度の増加、疲労による影響も増えてきて、鉄筋コンクリート床版の破損の一要因となってきている。従来、鉄筋コンクリート床版は、死荷重を軽減するため、できるだけ薄くするよう考慮されている傾向があったが、昭和14年制定の鋼道路橋設計示方書では床版の最小厚 8 cm、昭和39年制定のものでは約14cm、昭和47年に制定されたものでは最小厚16cm(床版支間によりこの最小厚を大きくしている)と変遷しているように、その最小厚を大きくすると共に、鉄筋量の増加、許容応力度の制限等を行なっている。それでも、他の構造物部材に比べて床版の破損事例は多く、種々の補修、補強が行なわれているのが現状である。

ここでは、北海道が施行している月形大橋の橋梁補修工事における現橋のコンクリート車道床版の耐力を、どのように調査し補修補強工法を決定したかを報告するものである。

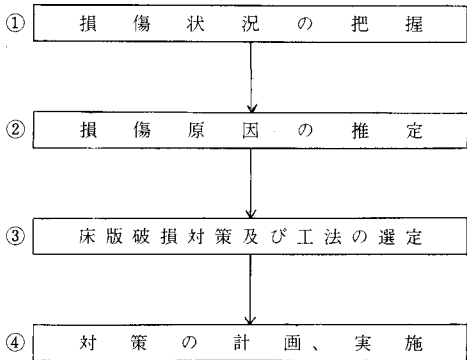
2. 現 橋 概 要

本橋は、主要道々岩見沢月形線の石狩川に架設されている橋梁で、岩見沢市と月形町を結ぶ唯一の路線にあり、その役割は大きく、トラス部分は供用開始から20数年を経過し、その床版は近年の交通量の増大、車両の大型化により、昭和45年から現在に至り床版落下が頻繁に発生し、その補修に莫大な費用を投じているのが現状である。その履歴は、表の1のとおりである。

表-1 月形大橋の履歴

路 線 名	主要道々岩見沢月形線
所 在 地	月形町 地 内
構 造 型 式	単純曲弦ワーレントラス、単純合成箱桁
橋長、幅員	橋長828.000m 幅員(トラス部)5.500m 箱桁部7.0m+2c0.75m)
支 間 割	箱 桁 トラス 箱 桁 4 @ 42.660+43.16 0+5 @ 65.000+6 @ 43.640
竣 工 年 次	昭 和 30 年
適用示方書	昭和14年度示方書 2等橋(9t)
設計者名	北海道開発局
製作所名	函館ドックKK

図-1 補修、補強、打ち換えに対する検討フロチャート



3. 床版実施調査の概要

橋梁の損傷状況の把握をし、その原因を推定し、損傷の実態に適合した適切、かつ効果的な対策を講ずるため、図-1のフローチャートに示す各項目について検討した。

4. 損傷状況の把握

現状の把握に対する調査は、既存の鉄筋コンクリート床版の破損事例にみるかぎり、コンクリート引張部に生じたひび割れが、輪荷重の繰り返し載荷により次第に発達して、いわゆる亀甲状のひび割れが形成され、それが悪化して部分的にコンクリートの陥没崩壊が生ずることがほとんどである。このように鉄筋コンクリート床版の破損には、ひび割れが大きな役割を演じていることが明らかである。よってこのひび

割れ状況を把握することが、床版破損の危険度を計る大きな尺度となる。そこでひび割れ調査を中心として次の調査をした。

4-1 床版ひび割れ調査及び遊離石灰浸出状況調査

床版ひび割れ調査は、あらかじめ床版下面のひび割れの軌跡に沿って白墨で床版自体にひび割れ展開図と、そのひび割れ長さを記入してゆく。次に上述した展開図を下から見上げる方向に描写して、床版ひび割れ展開図を作成する。(図-2)

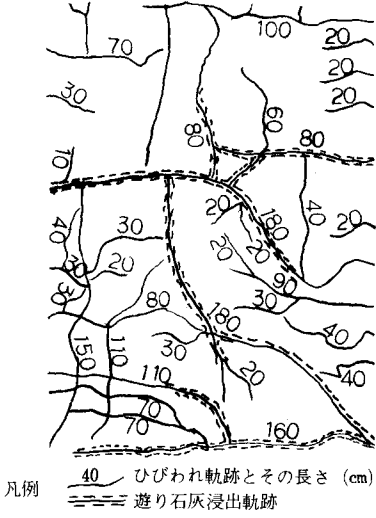
遊離石灰浸出状況調査も床版ひび割れ調査と同時に実施し、ひび割れ部よりの遊離石灰浸出軌跡を、床版ひび割れ展開図に併記する。(図-2)

なお、表-2、表-3、表-4にそれぞれ、床版の損傷程度のランク割り表、対策の緊急度、各種対策工法の通用規準を掲げ、調査結果の判断資料とした。

表-2 床版の損傷程度のランク分け

損傷 ランク	一般的なひび割れの進行外観状況		ひび割れ程度			ランク0 に対する 床版剛性	対策の 要・不要	備 考
			幅	間 隔	㎡当たり ひび割れ量			
0	ひび割れなし					1	不 要	
初期 状態	1	一方向のひび割れ(主鉄筋方向または配力筋方向)が散在する。	0.1mm以上	主げた間隔以上	0.5%以下	ほ ぼ 1	不 要	
	2	一方向のひび割れ(主鉄筋方向または配力筋方向)が散在する。ひび割れ幅の大きいところには遊離石灰泥状物質が見える。	0.1mm以上	主げた間隔以内	2.0%以下	ほ ぼ 1	場合によ っては 要	遊離石灰が見えるときは舗装面に注意する。
中期 状態	3	二方向のひび割れ(主鉄筋方向または配力筋方向)が発生する。	0.1mm以上	主げた間隔以内に部分的に0.5m程度	2.0%以上 3.0%以下	1~1/2程 度	場合によ っては 要	
	4	ひび割れがつながり、亀甲状ひび割れへと近づく。	0.1mm以上	全体的に0.3~0.5m程度	3.0~5.0% 程度	1/2~1/4程 度	要	この程度から床版剛性が急低下するので要注意。
末期 状態	5	ひび割れが亀甲状となり、間隔が狭くなる。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ程度	5.0%以上	1/4以 下	要	
	6	ひび割れ幅が比較的大きな箇所が多くなり、ひび割れ部コンクリートのすりへり、角落ち、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	5.0%以上	1/4以 下	要	なんらかの交通規制が必要
破壊 状態	7	かぶりコンクリートが部分的に落下床版の変形が非常に大きくなる。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	5.0%以上	1/4以 下	要	交通上きわめて危険である
	8	完全に床版コンクリートが脱落した状態である。	0.1mm以上	鉄筋ピッチ程度	5.0%以上	1/4以 下	要	交通止めをし緊急に応急処置を行なう。

図-2



4-2 実施コンクリート強度の試験

現在非破壊的に既製コンクリート構造物の強度を判定する方法としては次のような方法がある。

- 1) 簡易試験方法……ボルトの引き抜き
- 2) 表面硬度方法……各種ハンマー試験
- 3) 音響学的方法……共振方法
- 4) 放射線透過方法……ラジオグラフィ透過方法

今回実施した方法は、上記方法のうち表面硬度法で、シュミットハンマーにより行なった。選定理由

表-3 床版の損傷程度(なんらかの対策の緊急度)²⁾

ひび割れ幅	e	ほとんどがかなり大きめのひび割れ(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	ほとんどがかなり大きめのひび割れ(0.3~0.4mm程度)である。	D	C	B	A	A
	c	ほとんどが多少大きめのひび割れ(0.2mm程度)であるが部分的にかなり大きめのひび割れ(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ひび割れ(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 ひ び 割 れ 量			0.5% 以上	0.5% 2.0% 2.0% ²	2.0% 3.0% ² 3.0% ²	3.0% ² 5.0% ² 5.0% ²	5.0% ² 以上
浸出物の有無	a	ひび割れ部に遊離石灰、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	ひび割れ部全体に対し、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	ひび割れ部全体に対し、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	ひび割れ部全体にうすく(少量の)浸出物が見受けられる。	D	C	B	A	A
	e	ひび割れ部全体に濃く(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)

表-4 各種対策工法の適用規準²⁾

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	(3) 鋼板接着				
	(4) 縦げた増設				
工 法	(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) 荷重分配横桁増設				
補修工法	(8) FRP層接着				
	(9) グラウト注入				
	(10) 防 水				

——— 恒久的対策 応急的対策

としては、適用が簡便であり測定値が多数得られ強度推定精度も比較的良いとされている点が、挙げられる。

試験方法は「シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方指針(案)」を参考にして行なったが、ここでは記述を省略する。

4-3 中性化試験

新しいコンクリートはPH14~12のアルカリ性を示し、そのために鉄筋の防錆の役割りを果たしているが、もしもこれが風化その他の影響をうけてアルカリ性を失ない中性化すると、しだいに防錆の性能を失ない、鉄筋の発錆と、それにともなうコンクリートの崩壊の危険をもたらすものと考えられる。すなわちコンクリートの中性化試験はこの識別のために行なうものである。

判定方法は以下のような方法がある。

- 1) フェノールフタレン試薬の使用
- 2) PHメーターにより測定する方法
- 3) 試験紙の使用
- 4) PHコンパレーターの使用

今回実施した方法は、現場においての判別、簡便さなどから、フェノールフタレン試薬で行なったが、ここでは記述を省略する。

4-4 ハンマー調査

床版下面全体にわたって鋼製ハンマーでもってたたき、その発音によって鉄筋コンクリート床版の破損部又は、欠陥部がある程度推測するために行なうものである。

4-5 最大ひび割れ幅

ひび割れは、ある程度その幅が拡大することにより、鉄筋の腐食、コンクリートの崩壊等に対して大きな影響を与えるものと考えられる。

C.E.B(ヨーロッパ鉄筋コンクリート委員会)においては、鉄筋の腐食に対して次のように許容ひび割れ幅の基準値を推奨している。

腐食作用を受ける場合.....0.1mm

一 般 の 場 合.....0.2mm

腐食に対して保護処理をした場合.....0.3mm

今回の実施方法は、主鉄筋方向、配力筋方向の2方向の最大ひび割れ幅を、簡易計測器(厚紙に正し太さ、0.2、0.3、0.4、0.5mmの直線を引いたもの)により測定した。

4-6 外 観 調 査

4-1から4-5までの各床版調査は、全橋に対して実施したものではない。この外観調査は、前述の調査を補う目的で実施するものである。

4-7 調 査 結 果

4-1から4-7まで調査結果は表-5のとおりである。なお表-2、表-3、表-4の調査結果判断資料による結果は、表-6のとおりである。

表-5 調査結果一覧表

床版ひび割れ 調 査	・m ² 当たりのひび割れ延長 4.9% ² ・ひび割れ方向は、ほぼ橋軸方向、橋軸直角方向の2方向である。 ・橋軸直角方向の一部、ひび割れ縁のかけ落ちが見受けられる。
遊離石灰 浸出状況調査	・各調査ブロックにおいて橋軸直角方向に、床版支間ほどの石灰浸出軌跡が数本見受けられる。 ・石灰浸出部の石灰量は、かなり多量である。
実施コンクリート強度試験	・平均推定圧縮強度 194kg/cm ² (シュミットハンマーによる)
中性化試験	・全試験箇所においてアルカリ反応を示す。
ハンマー調査	・全調査箇所において異音発生箇所は、見受けられない
最大ひび割れ 幅 調 査	・全調査ブロックにおいて0.2~0.3mmである。 ・橋軸直角方向の幅が全体的に広い。
外 観 調 査	・ほぼ全床版において上記石灰浸出状況調査結果と同程度の石灰浸出が見受けられる。 ・床版打ち替え跡が数箇所見受けられる。 ・ひび割れ部より、鉄筋の露出、赤さびらしきものの浸出が見受けられる。

表-6 床版調査結果判断資料による結果一覧表

床版の損傷程度 のランク分	・ランク.....中期状態4 (・ひび割れがつながり亀甲状へと近づく ・ひび割れ幅.....0.1mm以上 ・ひび割れ間隔.....0.3~0.5m程度 ・m ² 当たりひび割れ量.....3.0~5.0% ² ・新床版に対する剛性.....1/2~1/4程度 ・対策の要・不要.....要 ・備考:この程度から床版剛性が急低下するので要注意
損 傷 程 度 (対策の緊 急度)	・緊急度.....B(できるだけ早期に対策が必要である) (・m ² 当たりひび割れ量、ひび割れ幅より...B ・m ² 当たりひび割れ量、浸出物の有無より...B
各種対策工法 の適用規準	・損傷程度Bに対する工法 恒久的対策 打ち替え...・床版打ち替え ・床版取り替え 補強工法...・鋼板接着 ・縦桁増設 ・床版上面のコンクリート打ち重ね 応急的対策 補強工法...・鉄筋増設モルタル吹き付け 補修工法...・FRP層接着 ・グラウト注入 ・防 水

調査結果一覧表を考慮して床版のひび割れ程度過程を考えると、

- 1) まず、なんらかの各要因が重なり、配力鉄筋方向に対する曲げモーメントが、版に対して設計仮定以上に働き、主鉄筋方向にひび割れが発生したものと考えられる。
- 2) 次に、このひび割れのため配力鉄筋方向の曲げ剛性の減少より、版は等方性から異方性へと変化し、曲げモーメントの負担率は、剛性の大きい主鉄筋方向が大きくなり、ついには配力鉄筋方向にもひび割れが生じ、ひび割れは、2方向に進み始めたと考えられる。
- 3) この後も、最初主鉄筋方向にひび割れを発生せしめた各要因は、取り除かれることなく床版に、悪影響を与え続けるため、ついにはそのひび割れは、床版上面に至る。その後は、床版上面よりの漏水とコンクリート成分により、床版下面に遊離石灰が浸出したり、ひび割れ幅の大きな箇所では、ひび割れ縁のかけ落ちが見られるようになる。
ここまでの現床版の現状と考えられる。よって、
- 4) 現床版のひび割れ進捗過程の推測より、現床版は、版としての機能を大きく失っているものと考えられる。
- 5) すでに本橋において部分的床版打ち換え実績が数箇所見受けられる。

6) ひび割れ部より鉄筋露出部が確認された。

7) 現床版のひび割れ進行為現状でとどまるといふ要素はほとんど見受けられない。

以上の結果、現床版に対して、早急な補修、補強が必要であると考えられ、このことは、各「床版調査結果判断資料」による結果ともほぼ合致するものである。

4-8 耐荷力の検討

既設備の耐荷力の検討に対しては、現橋に対して実際に期待できうる各部材の耐荷力を導き出すことによって、橋全体としての耐荷力を決定することが最も

表-7 各部材耐荷力集計表(TL-20に対する)

現実的であると考えられる。この方法を実際に実施するには、現橋における載荷試験を実施することが最良であるが、今回の調査では主構造に対しては、外観調査のみにとどまった。よって今回は、

1) 新示方書による検討(TL-20)

2) 鋼道路橋供用荷重算定指針(案)による検討

によって行なった。右表にその結果を示す。

右表より、耐荷力に関しては、床版と内縦桁以外は、すべてTL-20に耐えうる結果となるが、特に床版の耐荷力不足が著しい。また撓みに関しては、縦桁の撓みが許容値をかなり超過している。このことは、床版支持桁の不等沈下となり、版に対し附加曲げモーメントが生じていることになる。よって、耐荷力の検討より以下のことが考えられる。

(1) 現橋の耐荷力をTL-20相当に上げるためには、床版の耐荷力をなんらかの方法で上げることが、必要である。

(2) (1)の件を実行する場合には、縦桁の撓みに対する考慮が必要である。

部 材 名			耐 荷 力
床 版	主 鉄 筋	鉄 筋	T-13
	方 向	コンクリート	T-12
	配 力 鉄 筋	鉄 筋	T-3
	方 向	コンクリート	T-6
縦 桁	外 縦 桁		T-25
	内 縦 桁		T-23
横 縦			T-23
主 構	上 弦 材		L-24
	下 弦 材		L-21
	垂 直 材		L-34

活荷重による撓み(TL-20に対する)

	撓 み	許 容 撓 み
主 構	1/2,863×1.0=1/2,863	1/600
外縦縦桁	1/756×1.6=1/1,210	1/2,000
内 縦 桁	1/644×1.6=1/1,030	1/2,000
横 桁	1/1,488×1.6=1/2,381	1/2,000

5. 損傷原因の推定

損傷状況の調査結果及び耐荷力の検討から、損傷の原因を推定すると表-8のとおりである。

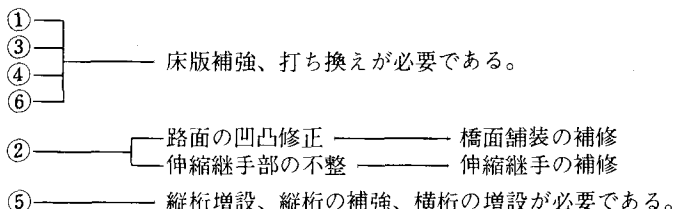
表-8 損傷原因の推定

荷重条件	① 過大な輪荷重	床版の設計において考慮された時より大きな輪荷重の作用と頻度がある(大型車710台/1日) S47調査																																			
	② 衝撃の影響	路面の凹凸や伸縮継手部の不整が輪荷重による衝撃を大きくしている。																																			
構造条件にかかわるもの	③ 設計耐力の不足	活 荷 重 を T L - 2 0 と し て の 設 計 耐 力																																			
		~床 版~																																			
		<table><tr><td></td><td>応 力 kg / cm²</td><td>許容応力 kg / cm²</td></tr><tr><td>上弦材</td><td>1,051</td><td>1,177</td></tr><tr><td>下弦材</td><td>1,416</td><td>1,400</td></tr><tr><td>斜 材</td><td>1,944</td><td>1,441</td></tr><tr><td>垂直材</td><td>916</td><td>1,400</td></tr></table>		応 力 kg / cm ²	許容応力 kg / cm ²	上弦材	1,051	1,177	下弦材	1,416	1,400	斜 材	1,944	1,441	垂直材	916	1,400	<table><tr><td></td><td>応 力 kg / cm²</td><td>許容応力 kg / cm²</td></tr><tr><td>外縦桁</td><td>1,549</td><td>1,400</td></tr><tr><td>中縦桁</td><td>1,667</td><td>1,400</td></tr></table>		応 力 kg / cm ²	許容応力 kg / cm ²	外縦桁	1,549	1,400	中縦桁	1,667	1,400	<table><tr><td></td><td>応 力 kg / cm²</td><td>許容応力 kg / cm²</td></tr><tr><td>主筋力 方 向</td><td>$\sigma_c=66$ $\sigma_s=1,889$</td><td>45 1,400</td></tr><tr><td>配力筋 方 向</td><td>$\sigma_c=127$ $\sigma_s=9,203$</td><td>45 1,400</td></tr></table>		応 力 kg / cm ²	許容応力 kg / cm ²	主筋力 方 向	$\sigma_c=66$ $\sigma_s=1,889$	45 1,400	配力筋 方 向	$\sigma_c=127$ $\sigma_s=9,203$	45 1,400
	応 力 kg / cm ²	許容応力 kg / cm ²																																			
上弦材	1,051	1,177																																			
下弦材	1,416	1,400																																			
斜 材	1,944	1,441																																			
垂直材	916	1,400																																			
	応 力 kg / cm ²	許容応力 kg / cm ²																																			
外縦桁	1,549	1,400																																			
中縦桁	1,667	1,400																																			
	応 力 kg / cm ²	許容応力 kg / cm ²																																			
主筋力 方 向	$\sigma_c=66$ $\sigma_s=1,889$	45 1,400																																			
配力筋 方 向	$\sigma_c=127$ $\sigma_s=9,203$	45 1,400																																			
	④ 配 力 鉄 筋 量 の 不 足	床版支間中央部の配力鉄筋量不足による配力鉄筋直角方向に大きなひび割れ、及び石灰浸出がみられ又それに直角方向のひび割れが生じている。																																			
	⑤ 縦桁の不等沈下 の 影 響	縦桁の剛性不足が許容撓み量をオーバーしているため縦桁方向に付加モーメントが生じ橋軸直角方向にひび割れが生じている。																																			

構造条件にかかわるもの	縦桁の不等沈下の影響	<table><tr><th></th><th>主 構</th><th>外 縦 桁</th><th>内 縦 桁</th><th>横 桁</th></tr><tr><td>撓 み</td><td>1/2,863</td><td>1/1,210</td><td>1/1,424</td><td>1/2,381</td></tr><tr><td>許容撓み</td><td>1/ 600</td><td>1/2,000</td><td>1/2,000</td><td>1/2,000</td></tr></table>						主 構	外 縦 桁	内 縦 桁	横 桁	撓 み	1/2,863	1/1,210	1/1,424	1/2,381	許容撓み	1/ 600	1/2,000	1/2,000	1/2,000
		主 構	外 縦 桁	内 縦 桁	横 桁																
	撓 み	1/2,863	1/1,210	1/1,424	1/2,381																
	許容撓み	1/ 600	1/2,000	1/2,000	1/2,000																
	自由縁における過大曲げモーメントの作用	床版において13mに1ヶ所の割合で施工打ち継ぎ目があり版の連続性が断たれ自由縁の状態になっている。このような縁切り部で、路面の不整がみられ輪荷重の衝撃を大きくし床版の破損を生じている。																			
⑦ 床版の剛性不足	現床版厚16cm≧現示方書による最小床版厚 $(3L+11)=3\times1.8+11=16.4\text{cm}$ 床版の剛性に対してはOK。																				

6. 床版破損対策

損傷の原因の推定項目(表-7)より、床版破損の対策を検討すると、次のようになる。



7. おわりに

月形大橋については、ひび割れ調査結果及び耐荷力の検討より、コンクリート強度、主鉄筋量、配力鉄筋量ともかなりの不足がみられ、鋼板接着などの床版補強だけでは版の耐荷力向上が期待できないので、床版の打ち換え工法を採用することにした。以上のように橋梁の損傷状況の把握からその原因を推定し、損傷の実態に適合した適切かつ効果的な対策を講ずる一方法を述べてきたわけであるが、最終的な補修、補強工法は、安全性、経済性のみならず、現場作業条件、施行条件、そして補修、補強する橋梁の社会的影響をも加味し、決定されるべきものであろう。

最後に、この発表にあたり、御指導、御協力いただいた北海道開発コンサルタント(株)橋梁部の方々に、深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 日本道路協会：道路橋示方書、昭和48年2月

(2) 高木秀貴：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について、土木試験所月報、1976年4月、No275

(3) 国広哲男：道路橋の耐荷力判定、橋梁と基礎、1974、VOL8、No10

(4) 土木研究所橋梁研究室：既設橋梁の耐荷力と供用荷重に関する研究、第25回建設省技術研究発表会、1971年

(5) 前田幸雄：松井繁之：道路橋RC床版の設計曲げモーメント式に関する一考察、土木学会論文報告集、第252号、1976年8月

(6) 近藤泰夫：鉄筋コンクリート設設計、国民科学社の設計

(7) 近藤泰夫：坂 静雄：コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店、昭和50年

(8) 明石外世樹：シュミットハンマーの使用上の注意、コンクリート工学、VOL14、No5、May1976
- (9) 実施コンクリートの強度判定委員会：シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針(案)材料試験、7-59

(10) 道路橋床版補強資料その2：ショーボンドKK

(11) 橋梁委員会示方書小委員会耐荷力分荷会：鋼道路橋供用荷重算定指針(案)、道路1970-11

(12) 高島春生：道路橋の横分配実用計算(前編)、現代社(S49.4.10)

(13) 高架構造研究会：理工図書、道路橋の点検補修 (S53.1.25)

参 考 資 料