

リンクスラブによる既設橋梁の連続化について

高橋 昭一*

1. コンクリート橋の損傷

橋梁を計画設計施工し、維持管理を行っている者として、「適切に設計されまじめに施工されているコンクリート橋の損傷は少ない」と言える。荷重の大型化など社会的条件の変化や、予想を越えた過酷な自然条件がない限り、比較的交通量の少ない道路においては、メンテナンスフリーに近い構造物であるといっても過言ではない。

しかし、過酷な自然を見誤ったり、設計・施工的に適切な配慮が欠けていたりすると、耐荷力を急速に弱めたり、維持管理をあまりにも要する橋梁となってしまうことはいうまでもない。そこで、本論に入る前に、JH 札幌が担当する北海道における、コンクリート橋の損傷事例を数例紹介したい。

1.1 浸透水による桁の凍結膨張破壊

写真-1は、昭和50年代に建設されたポストテンションT桁橋の、上縁定着ケーブルに沿って発生した亀裂・遊離石灰である。

降雨降雪による路面水が、上縁定着舟形部からダクト近傍に存在する空隙に沿って浸透し、北海道の過酷な自然条件のもと、冬期に凍結膨張し、桁を割裂させたものである。コア抜きによる調査の結果では、PC鋼材はグラウトにより保護されており、防食上の問題はなかったが、浮かび上がってくる問題点としては、

- ① 未だ確立されていない上縁定着舟形部の施工法
- ② PCグラウトのブリージング水処理の不徹底
- ③ コンクリート締固め不足によるダクト下の空隙



* Shoichi TAKAHASHI
日本道路公団
札幌建設局
構造技術課 課長代理

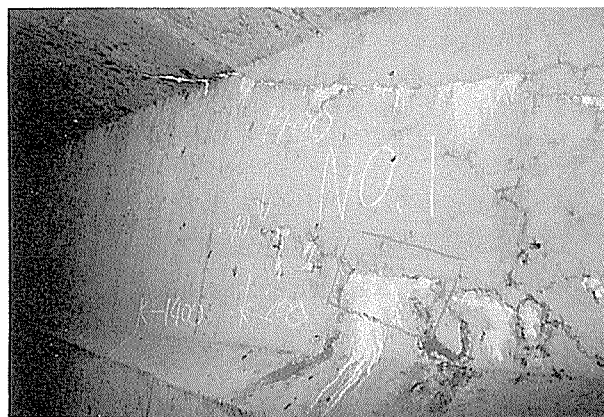


写真-1 T桁橋側面に生じた割れ

などがある。施工当時は膨張材が現場配合であったため、PCグラウトの膨張不足も考えられるし、鋼材の効率化を図るあまり、課題の多い上縁定着を採用した設計時点での配慮不足も否めない。

全桁数144本のうち損傷のあった6本の桁について、注入可能な亀裂には樹脂の注入を行い、注入不可能な微細な亀裂が存在していたため、桁全面にコンクリート塗装を行った。また路面のアスファルト舗装を切除し、シート系防水工を実施している。しかし補修工事3年後には、新たな桁にも損傷が発生し、前記対応済みの桁にも損傷の進行が確認されたため、再度補修工事を実施している。

JH 札幌では上縁定着を基本的に行わないことにするなど設計時点で配慮するとともに、PCグラウトについては、グラウト作業を低圧で確実にやるよう、

- ① 排気ホース間隔の規定（おおむね30m以内）
- ② 排気ホースの大径化（内径25mm）
- ③ 目標吐出し圧の規程（2~3 kgf/cm²）

などのグラウト作業環境の整備と、連続桁においては定着部近傍および中間支点付近での、強制再注入方式によるブリージング水、空隙処理を施工要領化している。

1.2 凍塩害による複合劣化

写真-2は、橋梁高架橋コンクリート製防護さく（壁高欄）等に発生している凍塩害による複合劣化で、部材表面1~数cmの板あるいは円錐状に、厚さ数mm程



写真-2 壁高欄の凍塩害による複合劣化

度で剥離しているものである。

過去における壁高欄の代表的損傷は、かぶり不足であり、鉄筋の腐蝕が問題となった。JH では構造物標準設計を改め、施工性も踏まえたかぶりとすることによりこれを解消している。

しかし、平成4年ころより、スパイクタイヤによる粉塵問題から、積雪寒冷地においてはスパイクタイヤ禁止条例が施行されるようになった。写真-2 に示した損傷は、これと揆を一に発生しているものであり、損傷の形態は海塩粒子の影響を顕著に受ける海浜地区での損傷と同様のものではあった。原因として考えられるものは、

- ① 冬期路面確保のため近年増加した NaCl の散布
- ② 降雪による水分の補給
- ③ 北海道の極低温

があり、損傷の形態は、塩素イオンによって助長された凍結融解といえ、現在のところは顕在化していないが、塩分浸透による鉄筋の腐蝕・膨張も今後懸念される。

このため、北海道における約 300 km の高速道路全線を調査し、約 60 箇所において塩分浸透量調査（図-1）を実施している。全塩分定量方法によって測定した結果では、本格的に凍結防止剤が散布されてから 2 冬を経過した時点で、部材表面から 4 cm 程度まで塩分の浸透が確認された。現行の壁高欄主筋位置での塩分量は 0.1～0.2 kg/m³ であり現時点では問題が無いものの、かぶりの薄い旧タイプの壁高欄での対策や、今後のさらなる浸透も予想されることから、平成7年度に3冬経過後の浸透量調査とプレストレストコンクリート床版でのサンプリング、塩分浸透量試験を実施する予定である。なお、部材表面に見られた剥離については、機能上問題の

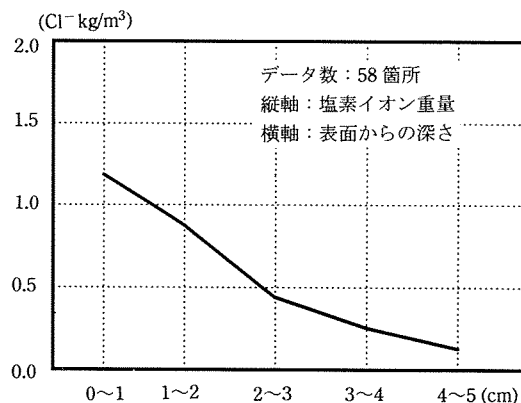


図-1 塩分浸透深さ

無いことがわかり、今後、コンクリート塗装などで対応していくものとしている。

JH 札幌においては、このような状況も踏まえ、路面からの塩分浸透に最も影響のあるプレストレストコンクリート床版の横締めには、シングルストランドアフターボンド鋼材を原則として用いるものとし、施工の省力化と防蝕性の確保を図っている。

1.3 伸縮ジョイントの損傷

写真-3 は、埋設ジョイントが損傷し、路面に亀裂が発生したものである。漏水により、長さ 2 m ほどのツララ（写真-4）ができてしまったが、路下には国道があり、ツララ落しなど対応に苦慮した。

当該箇所は幸いにもゴム支承を採用していたため、橋梁付属物に顕著な損傷は見られなかったが、漏水してくる水には塩が含まれているため、橋脚梁部には前項で述べた凍塩害複合劣化によるコンクリート表面の損傷が発生しており、橋梁上部桁端部も非常に湿潤な雰囲気となっていた。



写真-3 伸縮ジョイント損傷



写真-4 国道上にせり出したつらら

通行料金をいただく有料道路、高速道路にとって、路面走行の快適性は、最も重要な「お客様サービス」である。また、JHの最も古い設計基準である「名神高速道路設計要領」の中でも、「単純桁か、連続桁か」が言及されており、主に伸縮ジョイント取替費用と取替工事の複雑さから、JHでは伸縮ジョイントを極力無くすることを橋梁計画の基本としている。

伸縮ジョイント補修工事は橋梁改良費の約2割を占めるが、一般にごく小規模のため、工事件数は金額の割に多い。また、高速道路本線上での規制、工事騒音、工事渋滞など補修工事にかかわる有形無形の諸雑務、お客様あるいは沿道住民からのクレームの処理など、道路管理での省力化の大きな課題となっている。

本稿では、管理での省力化のため、伸縮ジョイント改良工事として「リンクスラブによる橋梁の連続化」を行った事例を報告するものである。

2. リンクスラブによる既設橋梁の連続化

リンクスラブは、伸縮ジョイント部において既設伸縮ジョイントを切除し、あわせて一部床版コンクリートをはつり取り、新たな軸方向鉄筋を配置して鋼繊維補強コンクリートで鉄筋コンクリート構造とし、隣接床版相互や床版と橋台パラペットとを連結することにより、橋梁上部工から構造的な伸縮ジョイントを除去する工法（図

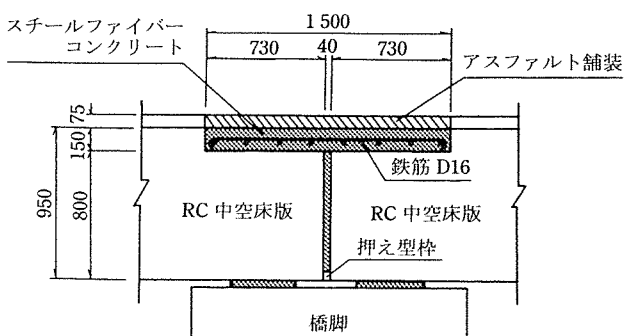


図-2 リンクスラブの概要（桁と桁の場合）

一2)である。

リンクスラブには、

- ① 連結部床版を桁や床版と一体化させる方式
- ② 連結部床版を桁や床版下部から切り離して連結する方式

がある。また、桁間の処理としては、

- ① 桁間を間詰めし必要あれば端横相互を鋼棒などで緊張する方式
- ② 桁間を一体化させない方式

がある。

リンクスラブには次の4つの目的がある。

- 1) 走行性の確保、騒音振動の除去低減、漏水およびこれに伴う橋梁付属物の腐食損傷対策など、維持管理、補修の必要な伸縮ジョイントを橋梁から無くし、橋梁の日常維持管理面での省力化を図る。
- 2) 路面から伸縮ジョイントが無くなることにより、ジョイントと舗装との段差によって生じる床版端部への衝撃力を低減でき、床版の長寿命化を図る。
- 3) 構造が単純桁から連続桁、桁構造から疑似ラーメン構造になることにより、活荷重による曲げモーメントを低減でき主桁耐荷力の向上（車両の大型化）が図れる。
- 4) 桁端部を隣接桁あるいは橋台とRC構造で連結するため落橋防止構造の一種となること、さらに不静定次数が大きくなって構造全体系で地震に抵抗できるなど耐震性の向上を図る。

3. リンクスラブを用いる背景

米国では1950年代から、インテグラルコンストラクションという名の下に、リンクスラブ形式の橋梁の連続化を行っている。インテグラルコンストラクションは、「橋梁床版部にジョイントを設けずに建設すること」と定義されている。インテグラルとは、ものごとを複合的・一体的に考えることを意味する。

米国では冬期路面管理に用いられる凍結防止剤が岩塩として豊富にあり、この大量散布により、橋梁は耐久性や健全性に重大な影響を受けている。一方、ジョイントレス橋は、目立った維持管理補修もなく長い期間正常に機能し、また高価な伸縮ジョイントや支承が無くなることにより、橋梁はより経済的となっている。

「構造技術者の技術力はジョイント無しに、いかに橋梁を長く設計できるかによって決まる」という言葉もある。中小規模橋梁においては、ジョイントを無くして生じる二次力によるより、ジョイントに起因する損傷の方が甚大である。このような認識が橋梁設計思想の根底にあり、リンクスラブのようなプラズマティックな建設方法を正当化させていることになる。

また、補修補強工法を選定する上で注意しなければならないのは、補強しすぎないことであると、私は考える。どこかをレインフォースすればどこかが相対的に弱くなり、破壊モードとして不適切なものに「改良」される場合がある。既設橋をリンクスラブで連続化したとき、仮に想定以上の荷重がかかって不具合が生じたとしても、損傷を受けるものはリンクスラブであり、これにより落橋など重大な事態には至らないことは明白であるので、数ある補修補強工法の中から、適切な工法を選ばねばならない側の発想としては、非常に楽な工法でもある。

4. 道央道・恵庭 IC 橋の事例

JH 札幌で実施したリンクスラブによる既設橋梁の連続化の事例として、「橋台と桁との連続化」と「桁と桁との連続化」の2例を紹介する。

前者の例として、昭和46年に供用を開始した道央道・恵庭 IC 橋の事例を紹介する。両端可動、中間支点固定の橋脚で支えられる PC 2 径間連続中空床版橋であったが、リンクスラブによる橋梁改良で、両端の可動橋台のパラペットと中空床版端部を凍結し、全支点固定・疑似ラーメン構造に改良している。

本橋新設時の伸縮ジョイントは、鋼製突合せジョイントであったが、スパイクタイヤ・除雪車ブラウにより損傷を受け埋設ジョイントに変更されていた。1 車線幅員のインター橋改良工事には、インター閉鎖（通行止め）が必要であり、施工時間の短い埋設ジョイントを選択したが、埋設ジョイントの寿命は短く、常に小補修を繰り返していた。

施工に先立ち、リンクスラブ本体について活荷重載荷を考慮して検討を行ったが、構造変更によって上部・下部・基礎に発生する、温度変化による二次力や地震力等については、構造検討を行わず施工している。

桁が温度により伸縮するときの考え方、課題として、

1) 伸びる時

橋台受働土圧が作用して、ある程度桁の伸びを拘束することが考えられ、上部工には軸力が作用すると思われるが、コンクリート橋であることから問題はないとした。また、リンクスラブは圧縮状態となり有害なひび割れは生じないものと考えたが、舗装・踏掛版が持ち上がる等の問題が若干懸念された。

2) 縮む時

桁の剛性と橋台の剛性を比べると、桁の方が大きいため、桁は橋台に拘束されることなく、自由に縮むものと考えた。軸力による桁の照査も必要と思えるが、課題となるのは、背面側に生じる舗装面の亀裂であると思われる。亀裂が発生するとして、ク

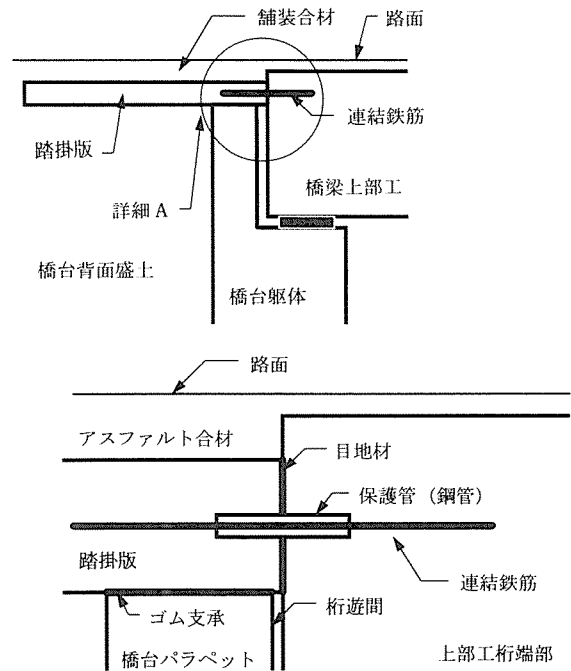


図-3 両端固定橋詳細図

ラックシール工程度で走行性を維持できるか否かがわからなかった。

本橋改良工事は、インター周りの舗装改良工事の一貫として夜間閉鎖を行って実施した。閉鎖時間内だけでは工事が納まらなかったため、事前に路肩規制を行いながら既設床版への切削目地施工を可能な限り実施し、また、橋台パラペットと主版との遊間にはコンクリートを充填しなかった。

本橋は、原稿作成時点で施工後約1年を経過しており、リンクスラブに引張りが生じる冬期を経過している。目視による調査では、両端可動橋のため橋梁の伸縮量が左右橋台に振り分けられたためか、リンクスラブ直上も含め橋台背面の路面には有害な亀裂を生じていず、リンクスラブ本体も含め橋梁全体は健全な状態を保っている。また改良前は、伸縮ジョイントが健全にシールされていなかったために沓座面は常に湿潤であったが、現在では雨上がりであっても、非常に乾燥した状態となっている。

JH 札幌では、構造的なジョイントが橋梁の寿命に与える影響や上記の事例などを踏まえ、北海道縦貫道・旭川～和寒間の橋梁計画では、両端固定橋(図-3)を提案し、全線 30 km の間をノージョイントで設計している。

5. 札樽道・宮の沢高架橋の計画・設計

次に、完成後2年半で「桁と桁との連続化」を行った、札樽道・宮の沢高架橋の事例を紹介する。これは RC (7+7+8) 径間連続中空床版橋3連において、中間

伸縮ジョイントを切除し、リンクスラブにより連続化したものである。新設時に、移動量が50mmを超え一般的には鋼製フィンガージョイントを用いる箇所においても、埋設ジョイントを適用させるべく、新たな埋設ジョイントを開発し試験施工を行ったものであるが、開通初年度の冬期にジョイントが損傷し、路面に補修不能な亀裂が発生した（写真-3, 4と同様）。

昭和63年度に行った本橋の設計は、旧道示・旧要領（ともに昭和55年版、以下、旧道示）により設計されている。連続化の検討を行うに際しては、新設橋の設計を行うのと同様に、現在JHの橋梁設計体系をなしている設計基準の範囲内で、どのくらいまで連続化できるのかと考える方法を採らなかった。

すなわち、完成後約2年半を経た桁長約120mのRC高架橋が3連あり、これを連続化するにはどのような設計を行ったらいいか、また荷重としてどのくらいまで耐えられるものとなるか、多少のクラックが生じても落橋に至らなければよい、そう考えることにし、

① 連続化後の残留乾燥収縮度を考慮する。

（ $\varepsilon=0.3$ ：連続化から終了までの乾燥収縮度）

② 固有周期別補正係数による割増しは行わない。などの条件を設定して、柱、フーチング、杭を照査した。

連続化後の構造は、リンクスラブをピン構造としたフレームを考えた（表-1）。一般的に、旧道示で設計された多径間連続高架橋の橋脚は、端部の橋脚は「地震+温

度（+乾燥収縮）」で決定され最も鉄筋量が多くなり、構造中心に近い橋脚は「地震」のみで決定されるので、鉄筋量は少なくなる。連続化後の部材応力度を照査した結果、最も大きな水平力を受ける最端部橋脚P₂と、鉄筋量が少ない割に大きな水平力となるP₄橋脚について検討すればよいことがわかった。

現行道示においては「地震+温度」の重ね合わせを行わないこととしており、

① 連続化後に残留する乾燥収縮度が現設計での「温度」の範囲内であること。

② 連続化後に残留および増加する「温度+乾燥収縮」が現設計での「地震」の範囲内であること。

が満足されれば、旧道示で設計している橋梁は構造的に問題が無いことになる。また、連続前の構造では、

① 可動支点はゴム支承による可動支承

② 固定支点はメナーゼヒンジによる固定支承

を用いており、「連続化により支点条件を変えない」という条件のもとに床版の連続化を行えば、地震時の検討は必要なくなる。

検討の結果、「常時+温度（+乾燥収縮）」の許容応力度の割増しが1.15、地震時が1.5であることを考えると、本橋の場合、比較的鉄筋量の少ないP₄橋脚での乾燥収縮を考慮した「地震時」が最も断面的に厳しくなり、杭鉄筋の応力度は許容値を若干オーバーする結果となった。なお、メナーゼヒンジとアンカーバーについては常時および地震時、リンクスラブは温度乾燥収縮や活

表-1 連続化後の構造と発生応力度等

柱天端水平力／橋脚	P ₂ 橋脚		P ₄ 橋脚	
	温度時	地震時	温度時	地震時
乾燥収縮（～2年半）	18.8		4.6	
乾燥収縮（2年半～）	22.0		18.2	
連続後温度変化	73.4		60.5	
地震時慣性力	67.7		73.5	
柱／鉄筋量A _s	D29-46本		D29-32本	
コンクリートσ _c	101.7<92	101.7<120	87.9<92	111.0<120
鉄筋σ _s	2050<2070	2545<3000	1902<2070	2980<3000
杭／鉄筋量A _s	D29-18本		D25-18本	
コンクリートσ _c	97.3<92	97.3<120	97.3<92	109.7<120
鉄筋σ _s	1821<1840	3130<3000	1791<1840	3261<3000

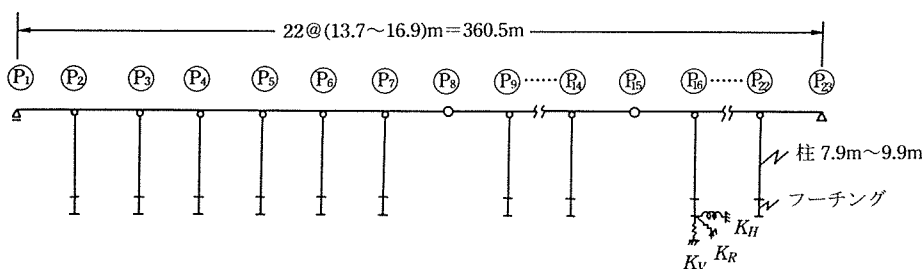




写真-5 宮の沢高架橋補修工事

荷重による曲げ引張り状態での照査を行ったがともに問題はなかった。

工事は平成6年3月に延3日間にわたって行い、2カ所のジョイントを切除連続化した(写真-5)。改良後の形式は、22径間連続中空床版橋(橋長=360.5m)となった。

本橋で最も懸念された点は、端部フィンガージョイントの遊間であったが、夏期には遊間ゼロとなり、冬期にはクシが掛かった状態で推移している。なお、平成6年夏、札幌は観測史上最高の気温36.2℃を記録したが、リンクスラブ、端部ジョイントとも、目視ではあるが健全性を確認している。

さらにJH札幌では、工事中のクリープ乾燥収縮を低減させるために、仮可動・固定支承を用いて建設された、6連のPC多径間連続2主版桁橋からなる札幌道北栄西高架橋において、供用後に再度、固定治具を開放して仮可動状態にすることにより、系内に残留していた二次力を低減し、その後リンクスラブで連続化して、33径間連続、橋長790mの橋梁とする工事を予定している。

6. リンクスラブの適用条件

リンクスラブを適用するための条件をあげれば、

- ① 支間長30m程度以下のコンクリート橋であること
- ② 連続させる上下部工形式がほぼ同一であること
- ③ クリープ乾燥収縮がほぼ終了していること

などとなる。

リンクスラブは、活荷重による桁端部の回転変位量を、床版を連続化することにより抑える構造をとっている。ジョイントを切除し一部床版をはつりとる程度では、配筋あるいは既設床版とのコンクリートの付着にも限界があるため、支間長30m程度以下抑える必要がある。

また、上部工形式が著しく異なったり、橋脚高さが異なる橋梁を連続化することにより、各橋脚の地震時の分

担率が偏り、耐震性を損なう場合もあり注意を要する。

試算によれば、上記条件を守ることににより、橋長500m程度までの桁と桁の連続化、100m程度までの橋台間の連続化は、十分可能と判断された。

7. おわりに

JH札幌における桁と桁との連続化は最長360mであり、橋台間でジョイントを無くした最長は120mとなっている。そして、平成7年度までに、リンクスラブを適用した橋梁は9橋にのぼる。

リンクスラブの計算では温度変化が支配的となるが、北海道における温度変化量は50度相当であり、本州よりこの値は大きい。交通量の影響もある程度考慮しなければならないが、北海道での実績は本州での適用の可能性を示していると思われる。

不連続箇所の削減は、維持管理のしやすさや供用性に寄与するところが大きいばかりか、補修箇所がないことは維持管理費の節減そのものといえる。また、長期的な耐久性を論じれば、ジョイントの切除、床版の連続化は、ジョイントからの漏水、段差による衝撃などが無く、橋梁が持つ本来の寿命を全うするものと考えられる。

JHでは、橋梁の連続化は社是であり、新設橋においては極力、多径間化を行ってきている。コンクリート橋のクリープ乾燥収縮を暫定ジョイントで解放し、開通当初の交通量の少ない段階での簡易な工事で連続化を行えば、インシヤルコストの削減も可能となる。橋梁の寿命は100年以上あり、時間をかけて良いものとしていく考え方も必要なのではないだろうか。

急速施工、クリープ乾燥収縮、あるいは架設場所の地盤条件等で、新設時には多径間化を成し得なかった橋梁について、その後の様子を確認しつつ、リンクスラブのような簡易な構造で連続化を図ることにより、「管理すべきものを無くす」を合言葉に、橋梁維持管理での省力化に貢献していきたいと考えている。

関連文献、参考文献

- 1) 高橋昭一：橋梁設計思想としてのインテグラルコンストラクション、高速道路と自動車1994/4
- 2) 高橋昭一：リンクスラブによる既設RC多径間橋の連続化、(財)高速道路技術センター、EXTEC、1994/9
- 3) Martin P. Burke : Bridge Deck Joints, NCHRP Report 141 TRB
- 4) Tennessee DOT : Tennessee Structures Memorandum 33, 45
- 5) Edward P. Wasserman : Jointless Bridge Decks, Engineering Journal/AISC 1978/3
- 6) S. Takahashi : Sapporo Structures Memorandum 1-15

【1995年8月7日受付】