

PCプレテンション桁橋の連結構造に関する研究

高速道路調査会
コンクリート構造分科会

はじめに

本報文は、日本道路公団の委託により、高速道路調査会がコンクリート構造分科会のなかにプレキャストコンクリート構造研究班を設置し、昭和46年度において行なった「PCプレテンション桁橋の連結構造に関する研究¹⁾」の成果から、その要点について報告するものである。

この研究班は、津野和男委員長（首都高速道路公団）を始めとして、建設省、日本道路公団、阪神・首都高速道路公団および民間企業における設計および施工の経験者より構成されている。PC鋼材配置の改良に伴ったPCプレテンション桁橋に関するJISの改定²⁾が行なわれ、この形式の適用範囲の拡大、利用度の増大等が予想される現状で、この研究班としては従来この種の構造形式の弱点であった走行性の悪さ、維持補修の頻度、耐震構造とするための困難さ等を解決するための手段を研究してきた。

本研究は、プレテンション桁を連結し、連続構造とするのが本旨であり、連結方式としては、ここでは鉄筋コンクリートによる方式を取上げ、設計上、施工上の問題点を調査したものである。

この研究のおもな内容は

- 1) 連結構造の比較検討
- 2) 鉄筋コンクリートによる連結方式に対する設計および施工要領（案）の提示
- 3) 今後の問題点

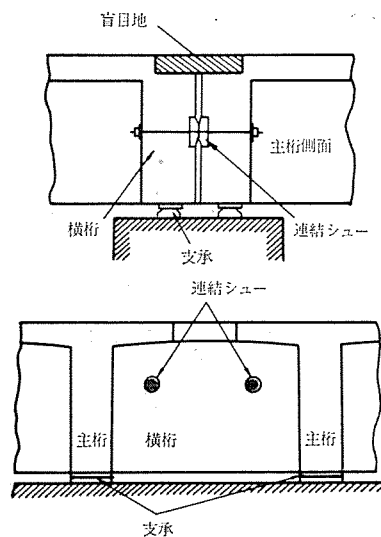
である。ここでは、この種の構造を実際に採用するに際して参考となるよう、また、積極的に連続桁としての構造形式を考慮する場合にも役立つように、主として実験的研究と設計についての部分について述べることにする。1) および 3) の詳細については、参考文献 1) を参照されたい。

1. 連結構造の必要性と機能および形式

橋梁の伸縮継手は最近種々の工夫あるいは改良が行な

われ、その機能は向上しているにもかかわらず欠陥となりやすい。これは一つには、伸縮継手と床版コンクリートの接合の施工性に大きな問題点があることは疑いはない。昭和44年度に名神高速道路189kmの全伸縮継手1344か所の破損状況が明らかとなったが、継手まわりのコンクリートの充填不足の施工性に起因する破損がほとんどであったと報告されている。切削目地の場合には、供用開始後4か月で走行車線部が破損し、この場合には施工上よりむしろ継手構造選択に問題があったのではないかと思われる。破損した伸縮継手の補修は、一般に交通を支障し、その費用は建設費よりも相当の割高であるし、さらにその作業の危険性が高いものである。したがって、上述のような実状からしても、伸縮継手の設置箇所をできるだけ少なくするような橋梁形式を選定することが望ましいものである。この意味から、連続桁あるいは、これに近い連結桁の採用は当然な方向を示すものといえよう。そのうえに、車両の走行性も単純桁を多径間架設する場合に比べて、数段向上する利点をもっている。さらに、単純桁を連結構造とすることによって、上部工の耐震性能が向上するという利点をもっている。すなわち、昭和46年1月に日本道路協会から発刊された

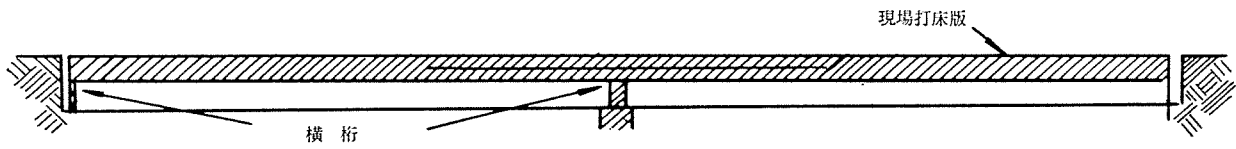
図一 連結シューを用いた連結構造



「道路橋耐震設計指針」の落橋防止構造の規定の主旨と、単純桁を連結する思想は、まったく一致するもので、今後の橋梁形式選択の一つの重要な要素になると思われる。

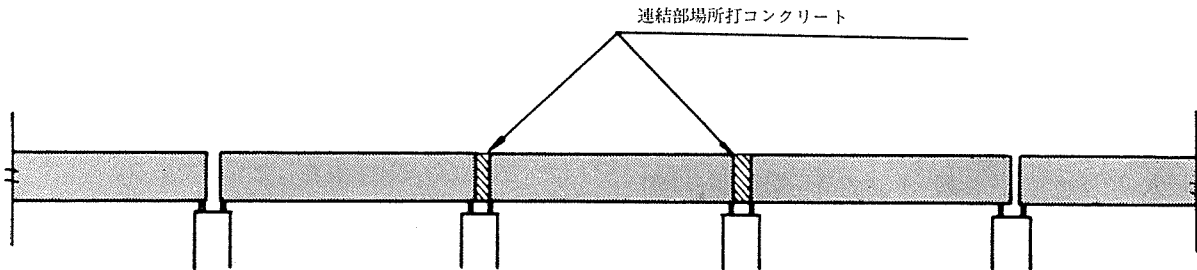
上記の利点を有するこの構造形式については、種々の検討が行なわれてきており、その

図-2 (a) プレキャスト連続桁の構造



プレキャスト桁をつなぐために床版と横桁のコンクリート打設

図-2 (b) プレテンション連結桁橋



一部については実用化されてきている。

これらの例としては、中央高速道路において単純桁を連結した連結シュー構造 (図-1 参照)³⁾、鉄筋コンクリート連結構造がある。本研究は、連結部の舗装表面には、なんらの施工も行なわれないこととして、しかも舗装表面にひびわれ等の有害な欠陥を発生しない構造の検討を行なうもので、図-2 (a) に示すように PC プレキャスト桁を単純桁として架設し、中間支点上を鉄筋コンクリート構造として現場打ち床版とともに同時施工し、連続構造とすることを目的としたもので、一般的な架設の方法は次のように考えられる。

1) プレキャスト桁の桁端を、次の支間との橋脚上で適当に離して架設する。

2) 床版の型わくをプレキャスト桁で支え、内部支点上の床版の中に異形鉄筋を配置する。

3) 桁端に一部かかり、桁間をふさぐ横桁を床版と同時に打設する。このコンクリートの重量は、単純桁としてのプレキャスト桁に作用する。

以上のような架設方法によると、床版および横桁のコンクリートの硬化後には、その後に作用する荷重は、連続桁構造によって支持されることになる。その際、径間内では、プレキャスト桁と場所打ち床版の合成断面が抵抗断面となる。中間支点上では、プレキャスト桁の下フランジと、床版横桁の鉄筋コンクリート部分とが共同して、かつ床版部分の鉄筋が、曲げに対して抵抗する。床版とプレキャスト桁間の水平せん断に対しては、床版とコンクリートの付着およびプレキャスト部分から突出した鉄筋によって抵抗することを期待するものである。

上記の施工法よりさらに進んで、図-2 (b) に示すように JIS 規格の (JIS A 5316-1971) T 型断面の桁等を使用し、現場におけるコンクリート打設作業を簡便化す

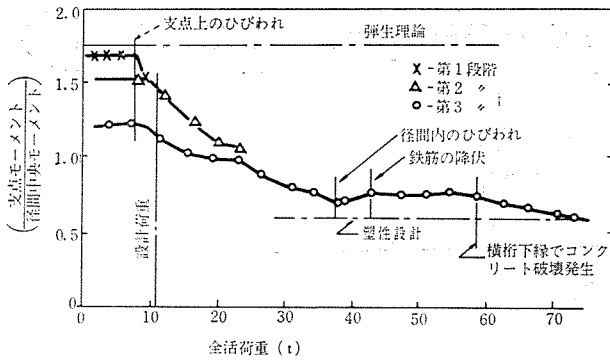
ると同時に経済化をはかるものが考えられる。この方法は、上述の工法とほぼ同様であるが、現場におけるコンクリートの打設量が少なく、また簡便である。さらに、この方法はポストテンション T 型断面 PC 桁に対しても簡単に適用することが可能と思われる。したがって本研究は鉄筋コンクリートによる連結構造のなかでも、プレキャスト PC 桁で T 型断面を有するものに関する研究をおもに取り上げたものである。なお、この工法によると工費は連結シューを使用する場合の約 50% 程度と想定されているが、これについては今後詳細な検討が必要であろう。

2. 連結構造に関する研究

中間支点部における連結シュー (図-1 参照) を省略し、連結用鉄筋による鉄筋コンクリート構造としての連結構造の研究のおもなものは Mattock, A.H. らによる実験的研究⁴⁾である。彼らは、10 m の支間を有する 2 径間の連続桁を作成し、種々の実験を行なっている。

図-3 は中間支点の連続性を示す実験結果であり、これによると、設計荷重の 75% までは弾性理論値に対して 98% の値を示し、完全に連続性が保たれている。しかしながら、この荷重を超過すると支点上の床版にひびわれが発生し、支点付近の剛性は低下し、設計荷重時の連続性は 93% 程度に低下する。同時に行なわれた結合部の疲労試験では、設計荷重の 1.5 倍までの最大モーメントに対しては約 1000 万回の繰返し荷重に対して、支点構造は破壊しないことが確認された。この実験により測定された中間支点部の床版のひびわれ幅の変化は、図-4 に示すように、設計荷重時に関しては繰返し荷重を受けたことによるひびわれ幅の増大は非常に小さいことがわかる。この実験では、設計荷重時の最大ひびわれ幅

図-3 荷重の増加に伴う支点モーメント/径間中央モーメントの比の変化



は「最大 0.05 mm, 平均 0.035 mm」と報告されている。

以上の Mattock らの実験結果から、中間支点部において連結シユーを省略し、連結用鉄筋による鉄筋コンクリート構造としての連結方法は十分実用化のめどがあるものと考えられる。しかしながらこの結果が、そのまま P C T 桁を使用した連結構造に適用できるものではないので、日本道路公団では、土木研究所にプレテンション P C 桁橋連結部についての実験を委託した。以下にこの実験の概要¹⁾について述べる。

この実験の目的は、JIS A 5316 (1971) BD 20 のプレテンション P C 桁 (ただし、連結する桁端ちかくではウェブは拡幅されており、さらに P C 桁の上フランジに切り欠きが設けられている) を単純桁として架設したのち、あらかじめ P C 桁の上フランジに切欠きを設け、この切欠きの端面から P C 桁に埋め込んでおいた鉄筋 (埋込み鉄筋) を突出させ、切欠部において両側の桁から突出した埋込み鉄筋に連結鉄筋をラップして連結したのち、支点上横桁と同時にフランジの面までコンクリートを打設して、橋脚の両側の P C 桁を連結する構造の挙動をしらべるものである。この種の構造においては、以下のような点が問題となる。

1) 最も大きな負のモーメントの作用する部分に重ね合せ継手があり、この部分に曲げ

ひびわれが発生した場合の挙動に、不安がある。

2) P C 桁の上フランジに、かなりの大きさの切欠きがあり、この部分から、大きなひびわれが発生しないか。

3) 現場打ちコンクリートの部分と P C 桁の端面との継目の部分に大きなひびわれが発生しないか。

以上のような問題点を解明するために、P C 桁連結部の強度試験を行なった。静的に荷重した場合より、荷重が繰返して荷重した場合のほうが、より敏感に上述したような欠陥が現われると想定されるし、橋梁は自動車の通行によって繰返し荷重を受けているので、この種の連結構造の安全性の検討に対しては、静的荷重試験のみではなく、疲労試験も実施したものである。

試験体の形状寸法は図-5に示すもので、前述の連結構造をできるだけ忠実に再現しようという意図のもとに製作されたものである。すなわち、JIS A 5316 (1971) BD 20 と同じ断面の P C 桁 (ただし、連結する側の桁端近くでは図-5に示すように、上フランジに切欠きを設けて鉄筋を突き出してあり、桁のウェブの幅は下フランジの幅まで広げている) を 2 本、28 cm の間隔をあけて縦にならべ、この部分で両側の P C 桁の端部から突出した鉄筋 (埋込み鉄筋) に連結鉄筋を重ね合わせてつなぎ、その後、横桁の幅に相当する長さ 130 cm に上フランジの幅でコンクリートを打設し、2つの桁を一体化するという方法によって、この試験体は製作された。実際の設計では、横桁にプレストレスを導入することになっているので、本試験の供試体もこれにあわせて横締めを行なった。試験体の長さは 9 m とし、その中央部分に連結部がくるようにしてある。製作本数は 2 本である。

使用材料: P C 鋼材は SWPC 3, 7 本より 12.4 mm のもの、鉄筋は、SD 30 ϕ 22 mm, P C 桁コンクリート

図-4 くり返し荷重回数の増加に伴うひびわれ幅の変化

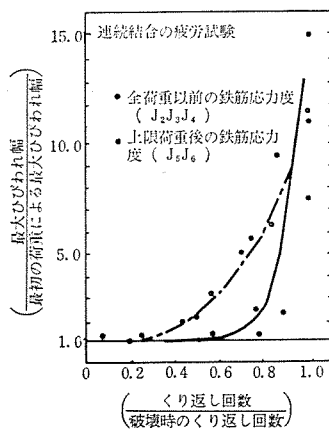
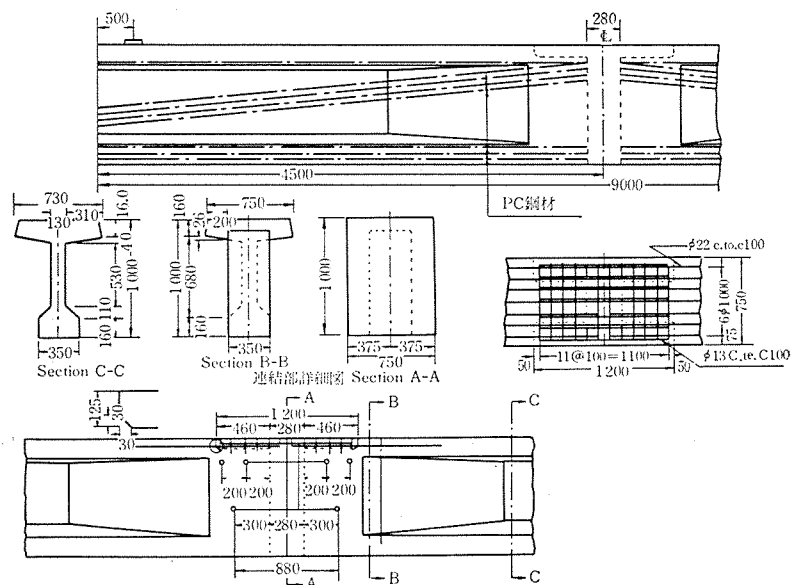


図-5 プレテンション P C 桁橋連結部強度試験試験体



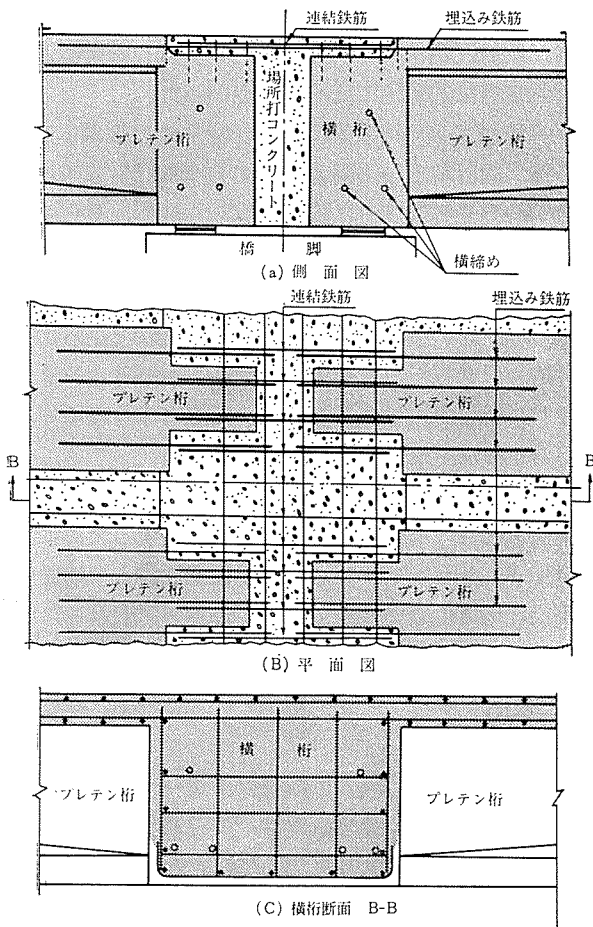
方書（日本道路協会）

- d) 鉄筋コンクリート標準方書（土木学会）
 - e) プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会）
- （プレテンション連結桁橋の構造は、図-2(b) に示すものである）

○連結部の構造

連結部でプレテン桁は、両桁端を場所打コンクリートの施工に必要な間げきをおいて配置され、橋脚上で2個のゴム支承により単純桁の両桁端がそれぞれ支持される。連結は、連結後の載荷荷重によって生じる連結桁としての負の曲げモーメントに対して上縁部の鉄筋を相互に連結してコンクリートを打設する構造とする（連結構造の例を図-9 に示す）。

図-9



○設 計

(1) 設計断面の断面力

- 1) プレテン桁連結部の設計断面に作用する断面力は、主桁連結後に作用する荷重による連続桁として計算した断面力を用いて算定する。
- 2) プレテン桁の断面は、正の曲げモーメントについては、すべて単純桁として、負の曲げモーメントは連結後作用する荷重を連続桁として計算したそれぞれの断面力を用いて算定する。
- 3) 1) の算定に用いる断面力は、(2) の仮定によって求めた支点上の曲げモーメントの90%としてよい。
- 4) 主桁と支点上の横桁の接合面は、これがずれることのないように検討しておく必要がある。

表-1

荷 重	構 造 系	連 結 部 の 面	プレテン桁の各断面
プレテン桁自重	単純桁	—	◎
	連続桁（仮定）	—	—
間詰・横桁重量	単純桁	—	◎
	連続桁（仮定）	—	—
橋面死荷重	単純桁（仮定）	—	○
	連続桁	◎	◎
活 荷 重	単純桁（仮定）	—	○
	連続桁	◎	◎
クリープによる2次モーメント	単純桁（仮定）	—	—
	連続桁	◎	◎

解 説：設計断面に考慮する荷重を表-1 に示してある。ただし、クリープによる2次モーメントは、断面に不利に作用する場合についてのみ考慮する。せん断力は単純桁または連続桁とした場合の値の大きいほうを用いて計算する。以上に示した荷重以外のものについては必要に応じて考慮する。

支点上の曲げモーメントをてい減した理由は、

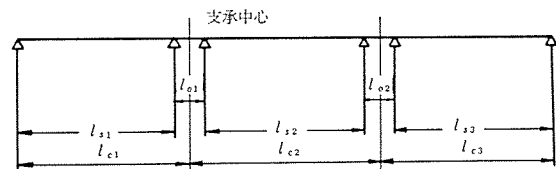
a) (2) の設計スパンにおけるスパンの取り方をしたときの曲げモーメントは、ばね支承による多径間連続として求められた値より6~10%大きい。

b) プレストレストコンクリート道路橋示方書10.2.5条の支上の曲げモーメントの減少に関する規定を適用する。

(2) 設計スパン

断面力の算定に用いる設計スパンは、単純桁の場合 l_s を、連続桁の場合は l_c を用いるものとする（図-10）

図-10 設計スパン（3径間の場合）



- l_s : 単純桁としてのスパン
- l_c : 連続桁としてのスパン
- l_o : 支承中心間距離

解 説：主桁連結後の荷重は、図-10 の場合、5径間連続桁 ($l_{s1} + l_{o1} + l_{s2} + l_{o2} + l_{s3}$) として作用するが、検討を行なった結果、簡単のため3径間連続桁として断面力を用いてよいものとした。ただし、支承に用いるゴム板の厚さは110mm以上のものを1枚以上使用するものとする。

種々の支承条件による支上に関する曲げモーメントの影響線を示すと、図-11 のようになる。

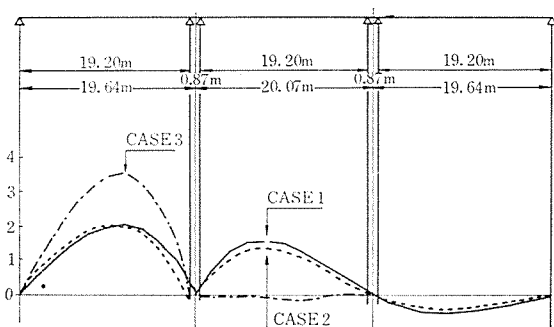
図-11 からわかるように、ゴム板が弾性支承的役割を示すことが重要で、短支間による断面力の急激な変化を相当に緩和するものと思われる。

(3) プレテン桁連結部の断面算定上の仮定

1) プレテン桁連結部の曲げモーメントに対する設計断面は、図-12(a) に示す端部切欠き始点の断面 A-A とし、設計断面に考慮する曲げモーメントは同図①-①断面位置の値をとる。

2) 設計断面 A-A の断面形状は、図-12(b) に示すものと

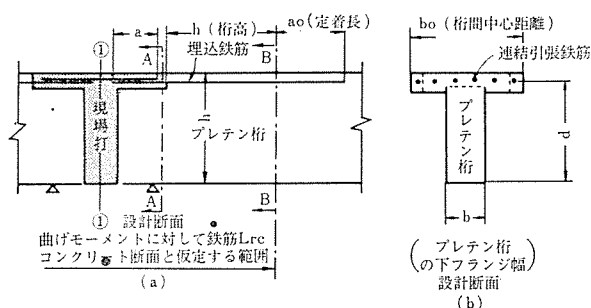
図-11 側径間側の内部支点に対する支承条件による影響線 (20 m のプレテン桁を 3 径間連続した場合)



	支間・支承条件	影響線面積	比
CASE1	3径間連続、鉛直固支承	39.4	1.00
CASE2	3径間連続、ゴム支承(ゴム板3,1枚)は4.0m×8.57cm(端支点)25.47cm(中支点)	37.0	0.94
CASE3	5径間連続、鉛直固支承	43.0	1.08

注：ゴム板1枚の厚さは10mmである。

図-12 連結部の設計断面



する。設計断面 A-A は、図-12 に示す範囲 L_{rc} を代表し、曲げモーメントに対して鉄筋コンクリート断面として計算する。その場合のコンクリートの圧縮応力度は、プレテン桁のプレストレスを単純に加算して求めるものとする。

(4) コンクリートのクリープによる 2 次断面力

プレテン桁およびその連結部は、コンクリートのクリープによる 2 次断面力を考慮して設計するものとする。

(5) 連結鉄筋の重ね合せ長さ、および埋込み鉄筋の埋込み長さ

1) 連結部の主鉄筋の重ね合せの長さ a は鉄筋径の 30 倍以上とする。

$$a \geq 30 \phi \quad (\phi: \text{鉄筋の公称径}) \quad (\text{図-12 参照})$$

2) 埋込み鉄筋の埋込み長さ a' は次式によって求める。

$$a' = h + a_0 \quad (h: \text{プレテン桁高}, a_0: \text{定着長}) \quad a_0 \geq 25 \phi \quad (\text{図-12 参照})$$

(6) 連結部断面の破壊安全度の検討

連結部断面は破壊に対して、次の荷重状態に関してそれが安全であることが確かめなければならない。

$$2.0 \times (M_d + M_i) \leq M_u$$

ここで、 M_d , M_i ; 連結部の設計に使用した死荷重による曲げモーメントおよび活荷重による曲げモーメント

M_u ; 連結部の曲げ破壊モーメント

(7) 支 承

1) PCプレテンション 桁橋に使用する シューは、ゴム支承を原則とする。

2) ゴム支承の設計は、最大反力 (R_{max}) で支圧応力度 $\sigma_c \leq 50 \text{ kg/cm}^2$ 、最小反力 (R_{min}) で $\sigma_c \geq 15 \text{ kg/cm}^2$ となるように支

図-13

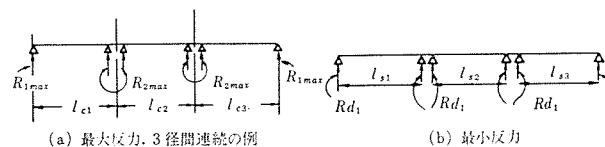


表-2

シユ-位置	反力	R_{max}	R_{min}
端 支 長		$R_{d1} + R_{1D} = R_{1max}$	R_{d1}
中 間 支 点		$R_{d1} + R_{1DC} = R_{2max}$	R_{d1}
記 号		R_{d1} : プレテン桁の自重、間結による単純桁としての反力 R_{1D} : 連結部を打設後 3 径間連続桁として作用する荷重 (活荷重, 地覆, 高欄, 舗装等) による反力 R_{1DC} : 同上中間支間	

承の支圧面積を決めるものとする。 R_{max} と R_{min} は 図-13 と 表-2 によって算定するものとする。

(8) 材料の品質、許容応力度

1) 連結部に使用する材料の品質、形状は

鉄筋 SD 30 $\phi \leq D 22$

コンクリート $\sigma_{ck} \geq 300 \text{ kg/cm}^2$

とする。

2) 使用する材料に関する許容応力度は

鉄筋 SD 30 $\sigma_{sa} = 1400 \text{ kg/cm}^2$

コンクリート $\sigma_{ca} = \sigma_{ck}/3$

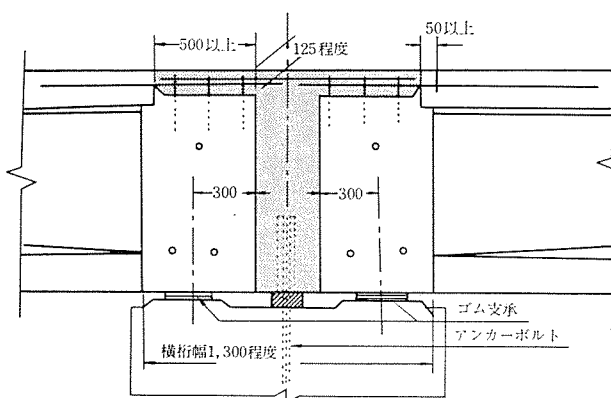
とする。

解 説：上記の材料品質、形状および許容応力度は、実験の試験体にて採用されたもので、弾性範囲の設計では十分安全を確かめられたものである。また、鉄筋径を D 22 以下、許容応力度を 1400 kg/cm^2 に規定したのは、活荷重による疲労の影響および、有害なひびわれの発生がないように考慮して決めたものである。

・構造細目

(1) 場所打部の構造 (図-14 参照)

図-14 側 面 図



- 1) 連結部の桁端の間隔は 20 cm 以上とする。
- 2) 横桁の幅は 130 cm 程度とする。
- 3) 主桁の切欠長さは鉄筋継手長さを考慮して、最小 50 cm とする。切欠厚さは 12.5 cm 以上とし、隅角部に $3 \times 3 \text{ cm}$ 程度のハンチを設けるものとする。

図-15 床版鉄筋配置例

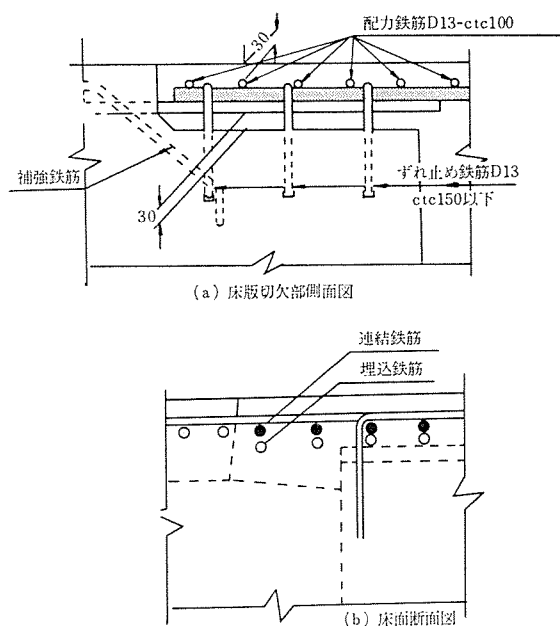
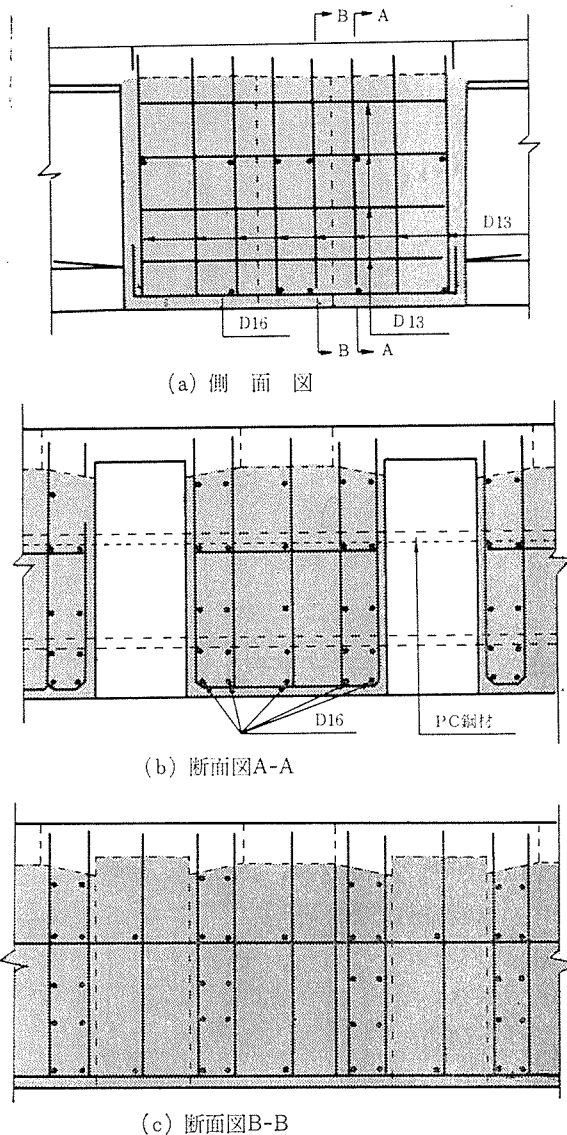


図-16 横桁鉄筋配置例



(2) 連結部の鉄筋

1) 床版の鉄筋 (図-15 参照)

② 主鉄桁のうち埋込み鉄筋は配力鉄筋と連結鉄筋を配置したとき、かぶり 3 cm が取れるように配置しなければならない。鉄筋間隔は 10 cm 程度とする。

③ 連結鉄筋は埋込み鉄筋に接して配置するものとする。

④ 切欠部のずれ止めの鉄筋は D 13 mm とし、15 cm 間隔以下とする。

⑤ 配力鉄筋は D 13 mm とし、10 cm 間隔とする。

2) 横桁の鉄筋 (図-16 参照)

③ 橋軸方向には主桁の正のモーメントに対する主鉄筋として、下側に D 16 mm 以上のものを配置しなければならない。このほか補強鉄筋として、図-16 に示す鉄筋量以上を配置するものとする。

④ 支承線方向には、補強鉄筋として 図-16 に示す鉄筋量以上を配置するものとする。

⑤ 横桁には PC 鋼材を配置するのを原則とする。

解 説： PC 鋼材は、地震時の水平力が伝達でき、また主桁と横桁とのコンクリート接合面の付着を確保するため、横桁断面に対して平均 5 kg/cm^2 以上の圧縮力を与えるのがよい。

(3) 支 承

1) ゴム支承は、その中心が両側の桁端からそれぞれ 30 cm に設置するものとする。

2) 各橋台、橋脚上には、アンカーボルトを設置するものとする。

(4) 主桁端部の構造

1) 主桁端部付近は断面力により、必要な断面をとらなければならない。

2) 主桁の PC 鋼材は桁端から出すのを原則とする。

3) 床版切欠きの隅角部は、ひびわれが発生しやすい箇所なので、補強鉄筋を配置しなければならない。

4) 連結部付近の床版上には、防水層を施すのを原則とする。

以上は、主として設計要領 (案) の条文のみを示した

もので、解説は相当に省略したことに注意され、この要領に沿って実際の設計を行なわれるときには、研究報告書の解説に十分留意されたい。

あ と が き

高速道路における伸縮継手の維持補修をなくし、走行性を向上させることを目的として出発したこの研究は、これに先立って行なった試験で、仮定した断面での安全性を確認することができた。これによって、設計・施工要領 (案) が成案化された。しかしここでは、紙面の都合から施工要領 (案) は省略したが、その内容は一般の PC あるいは RC 構造の施工要領に多少の構造上の特殊性を加味したに過ぎないものと思われてよい。

この研究は、連結構造のほんの一例について行なったものであると同時に、種々の材料上、設計上の問題点を残しているが、今後の課題としては

- 1) JIS プレテン桁を改造しないで連結できる構造とすること。
 - 2) 長大スパンに適用できるものとする。
 - 3) 連続桁として設計し、JIS プレテン桁を1ランク下げたものを使用する。
 - 4) ゴム支承には、荷重、スパンに限度があるので、支承の形式、構造について検討する必要がある。
 - 5) 鉄筋以外の材料で、連結構造と同じ機能を有するものといったものが考えられる。
- 以上のような課題について実験的な研究が進められ、RC連結構造のより合理的な設計施工が確立することが望まれると同時に、この種の形式の設計・施工に際して本報文がなんらかの参考になれば幸いとすところであ

参 考 文 献

- 1) PCプレテンション桁橋の連結構造に関する 研究報告書 (昭和 46 年度) 昭和 47 年1月
コンクリート構造分科会報告 No. 7 財団法人高速道路調査会
- 2) けた橋用プレストレストコンクリート橋げた, JIS A 5316 -1971 日本工業規格
- 3) 中央高速道路工事誌 日本道路公団
- 4) プレキャストコンクリート橋 —PC合成桁の実験と理論解析—(1960 年) Alan. H. Mattock.
- 5) 国広・朝倉: プレテンション PC けた橋連結部の強度試験, 土木技術資料 Vol. 14, No. 2

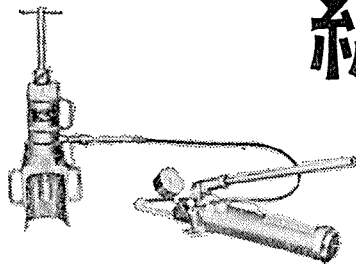
文責 首都高速道路公団 泉 満明
日本道路公団 矢野十三雄

講演概要集頒布について

協会では毎年行なっております講演会の概要集の残部がありますのでご入用の方は代金を添えて、協会へお申し込み下さい。

○ 5 回, 6 回, 7 回, 8 回, 9 回 (各 250 円 ㊦ 100 円)

PC 用 油 圧 機 器 の 総 合 メ ー カ ー



センターホールジャッキ・モリプラー
PAT.No. 467154

住友 DWジャッキ
PAT.No. 226429

製 造 元

K.K 平 林 製 作 所

京都市宇治市槇島町目川 8
TEL 宇治(0774) 22-3770番

発 売 元

草 野 産 業 株 式 会 社

本 社
大阪市東区備後町 1 丁目 11 番地
TEL 大阪(261)~8710・8720
東京事務所
東京都千代田区神田錦町 3 丁目 21 番地
柴田錦橋ビル TEL (201)~3546