

人工軽量骨材コンクリート床版を用いた コンクリート合成桁の設計と実験について

徳 良 賢 一*
松 本 和 則*
根 本 洋*

1. ま え が き

都市内高速道路などの形態は、その交通処理、街路の機能、用地取得などの関係より、連続した高架橋となるのが一般的である。また、その構造は施工精度、経済性の有利な点から活荷重合成桁が最も多く採用されている。コンクリート合成桁は、一般に鋼合成桁と同じ考え方から、工場または現場で製作されるプレキャストプレストレストコンクリート桁と場所打ちコンクリート床版との組合せで構成される。この場所打ちコンクリート床版に、主として経済的理由より、人工軽量骨材コンクリートを用いることが行なわれ始めた。この形式のコンクリート合成桁を以下軽量合成桁と呼ぶ。

本報告は、この軽量合成桁について、首都高速道路3号線(Ⅱ期)において用いた設計方法、およびそれに関連して行なった「軽量合成桁の接合面に関する実験」をとりまとめ紹介するものである。

首都高速道路3号線(Ⅱ期)は、東名高速道路終点の世田谷区玉川用賀町と首都高速道路3号線(Ⅰ期)起点の渋谷区大和田町を結ぶ延長約8kmの高架橋道路である。このうち、世田谷区玉川用賀町において、延長約750mにわたり単純軽量合成桁を用いた。

2. 軽量合成桁の特長

近年の人工軽量骨材および人工軽量骨材コンクリートの普及とともに、それに関する実験、研究は多数行なわれ、その諸性質はほぼ明らかとなっている。人工軽量コンクリートを上述の軽量合成桁に用いた場合、その諸性質がどう影響するかを、普通コンクリート床版を用いた合成桁(以下普通合成桁と呼ぶ)と比較し、長所、短所を列記すると、

長所としては

1) 床版の単位重量が小さいため、合成前荷重(死荷重)/合成後荷重(主として活荷重)の比が小さくなり、合成桁としての特長が増大される。

2) 1)の理由により、プレキャスト桁断面とPC鋼材が減少でき、ひいては架設重量を軽減できる。

3) 上部構造の軽減は、下部構造全体を経済的とする。とくに上部構造からの地震力で支配的に決定される下部構造では著しい。

短所としては

1) 人工軽量骨材が天然骨材に比較し高価なため、床版コンクリートの m^3 あたり単価が高くなる。

2) 床版コンクリートの示方配合、配合管理、施工管理がやや繁雑である。

3) 人工軽量コンクリートの力学的性質からみると、ヤング係数が小さく、これは合成断面を減少させる。また、引張強度、支圧強度、せん断強度が小さく、これは床版の厚さを増大させる。

首都高速道路3号線(Ⅱ期)のコンクリート合成桁に人工軽量コンクリート床版を採用するにあたり、普通コンクリート床版との比較設計を行ない、経済性の検討をした。比較設計の設計条件は、

上部構造：支間 21.0m 総幅員 16.5m

下部構造：鉄筋コンクリート門型ラーメン橋脚
橋脚高 10m

基礎構造：フーチング

場所打ち鉄筋コンクリート杭 $\phi 1.2m$

この比較設計の結果により工費比較を行なうと軽量合成桁は、普通合成桁より、上部構造で2%高く、下部構造と基礎構造で11%安く、全体としては約7%工費減となった。

使用する骨材は、細粗骨材とも頁岩を原料とする非造粒形人工軽量骨材とした。これは、骨材の一部に天然骨材を用いても有利とならず、設計施工が繁雑となるためである。また、種類を非造粒形としたのは、当公団での使用実績や実験データが多いためである。

3. 軽量合成桁の設計

普通合成桁の設計は、従来より「プレストレストコンクリート道路橋示方書」(日本道路協会)により行なっ

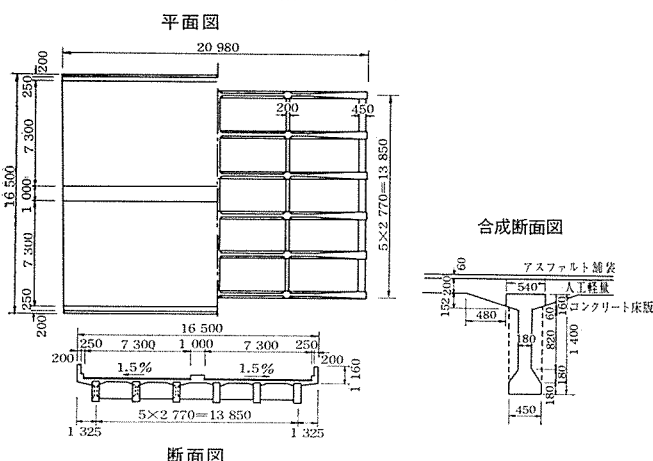
* 首都高速道路公団

ている。また、人工軽量コンクリートに関しては「人工軽量骨材コンクリート設計施工指針（案）」（土木学会）に規準が定められている。

軽量合成桁の設計は、普通合成桁ととくにその考え方において異なるわけではなく、人工軽量コンクリートの諸性質を考慮し、正確に設計条件に採り入れるならば、従来の方法でよい。

以下、首都高速道路3号線（Ⅱ期）において施工された単純軽量合成桁の設計要領を、普通合成桁との相異点を比較しながら紹介する。本工事に用いた軽量合成桁の形状寸法を 図-1 に示す。

図-1 構造一般図



a) 死荷重

人工軽量コンクリート床版の単位重量は 1850 kg/m³ とする。

細粗骨材とも人工軽量骨材を用いた場合の人工軽量コンクリートの単位重量は約 1600 kg/m³ であり、床版に入る鉄筋量は約 200 kg/m³ である。そこで、簡単のため人工軽量コンクリート床版の単位重量を一律に 1850 kg/m³ と定めた。

b) 材 料

人工軽量コンクリート床版の品質は設計基準強度 σ_{ck} が 350 kg/cm² のものとする。

床版コンクリートの σ_{ck} は、主桁コンクリートの σ_{ck} (=400 kg/cm²) との関係、合成断面の増加、および後述の床版自体の強度などより、350 kg/cm² と定めた。

本橋に用いた材料と示方配合は次のとおりである。

表-1 人工軽量コンクリートの配合例

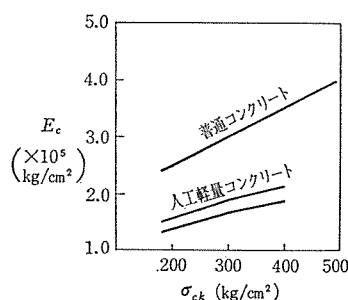
設計基準強度 σ_{ck} (kg/cm ²)	粗骨材 最大寸法 (cm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材率 S/A (%)	単位水量 W (kg)	単 位 セ メ ン ト 量 C (kg)	細 骨 材 の 容 積 S (m ³)	粗 骨 材 の 容 積 G (m ³)	ポゾリス	
										No. 5 を用 いる場合 (g)	No. 8 を用 いる場合 (g)
350	15	7.5	6	37	40	170	459	0.250	0.374	2 295	1 148

セメント：ポルトランド普通セメント
細粗骨材：M社製 非造粒形人工軽量骨材
c) 設計計算に関する一般事項

設計計算に用いる人工軽量コンクリートのヤング係数 E_c は、 $\sigma_{ck}=350$ kg/cm² に対し 1.8×10^5 kg/cm² とする。ただし、床版自体の設計計算に用いるヤング係数比 n は、15 としよ。

「プレストレストコンクリート設計施工指針」（土木学会）、「人工軽量骨材コンクリート設計施工指針（案）」にそれぞれ示された普通コンクリート、人工軽量コンクリートの E_c は 図-2 のとおりである。

図-2 設計計算に用いるコンクリートのヤング係数



人工軽量コンクリートのヤング係数は、一般に小さく、普通コンクリートの 50~80% である。

軽量合成桁の合成断面の設計、弾性変形の計算に用いるヤング係数 E_c は、 1.8×10^5 kg/cm² とする。ただし、後述の床版自体の設計において、応力度の計算、断面の設計では便宜上ヤング係数比 $n (=E_s/E_c)$ は、普通コンクリートと同じ 15 としよ。これは、床版について「人工軽量骨材コンクリート設計施工指針（案）」の主旨に従っても危険とならないためである。

プレキャスト桁と人工軽量コンクリート床版との間の材令および品質の相違によって生じるクリープ、乾燥収縮差による影響は計算しなくてもよい。

人工軽量コンクリートのクリープ、乾燥収縮は、使用する骨材の種類、乾湿の状態、配合、部材の形状などによってかなり異なった値を示し、過去の実験報告でも、普通コンクリートに比べ大きい場合も小さい場合も見受けられる。「人工軽量骨材コンクリート設計施工指針（案）」では、クリープ係数、乾燥収縮を、普通コンクリートとほぼ等しく、それぞれ 2、 20×10^5 としている。プレキャスト桁と床版との最終クリープ、乾燥収縮がほぼ等しいならば、次には両者の材令差が問題となる。

しかし、人工軽量コンクリートのヤング係数は、普通コンクリートのヤング係数よりかなり小さいこと、本工事ではプレキャスト桁と床版との材令差が3ヵ月以内であることを考慮すれば、クリープおよび乾燥収縮差による応力は小さく、「プレレストコンクリート 道路橋示方書」の主旨に従い、その影響は無視できることとした。

プレキャスト桁と人工軽量コンクリート床版との温度差による応力計算において、プレキャスト桁と床版との温度差は5°Cとし、それぞれ一様分布とする。
人工軽量コンクリートの線膨張係数は、 1.0×10^{-5} とする。

人工軽量コンクリートは、普通コンクリートよりしゃ熱性がよく、熱膨張係数も小さいとされているが、実験データもまだ少なく、一応安全側をとり普通合成桁と同じとした。

d) 許容応力度

人工軽量コンクリート床版のある有効幅を、主桁合成断面の一部として設計する場合の許容応力度は次のとおりである。
許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca} = 100 \text{ kg/cm}^2$
許容せん断応力度
斜引張り鉄筋を計算しない場合 $\tau_{ca} = 6.0 \text{ kg/cm}^2$
斜引張り鉄筋を計算する場合 $\tau_{ca} = 16.0 \text{ kg/cm}^2$

合成桁の床版は、主桁合成断面として橋軸方向の曲げ圧縮力と、床版としての各種応力を受ける。

鋼合成桁の普通コンクリート床版について「鋼道路橋の合成桁設計施工指針」（日本道路協会）では、安全度を3.5としている。

人工軽量コンクリート床版についても、普通コンクリートと強度特性がほぼ等しいことから、安全度を3.5とし、

$$\sigma_{ca} = \sigma_{ck} / 3.5 = 350 / 3.5 = 100 \text{ kg/cm}^2$$

と定めた。

合成桁において、合成断面の斜引張応力度が最大になるのは、通常図心位置、または、曲げ応力度が0となる位置であり、床版位置で斜引張応力度が大きくなることはないが、一応許容応力度として「人工軽量骨材コンクリート設計施工指針（案）」に示されている値とほぼ等しい値を示した。

床版をT荷重によって設計する場合、最大曲げモーメントは「プレレストコンクリート道路橋示方書」により求めてよい。ただし、せん断力に対する検討もしなければならない。許容応力度は次のとおりとする。
人工軽量コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca} = 80 \text{ kg/cm}^2$
鉄筋の許容引張り応力度 $\sigma_{sa} = 1600 \text{ kg/cm}^2$
人工軽量コンクリートの許容せん断応力度 $\tau_{ca} = 6.5 \text{ kg/cm}^2$

従来の実験報告からみると、人工軽量コンクリート床版の曲げ特性（変形特性、曲げ破壊）は、普通コンクリート床版との間に差はみられない。そこで設計荷重に対する曲げモーメントは上記示方書により求めてよいこととした。また、床版には輪荷重が直接載荷されるので、設計荷重以上の局部応力が生じたり、輪荷重の動的作用や載荷状態により正負の曲げモーメントが繰り返し作用するなどのため、許容応力度を上記のように定めた。

人工軽量コンクリートは、普通コンクリートに比べ、せん断強度がやや劣るため、「人工軽量骨材コンクリート設計施工基準（案）」でも許容応力度を小さくしている。普通コンクリート床版は、せん断に対する検討を省略できることとなっているが、人工軽量コンクリート床版では、曲げモーメントで定めた断面をせん断力に対し検討を行なうこととした。

e) 設計細目

- 1) 人工軽量コンクリート床版の鉄筋のかぶりは、3 cm 以上とする。
 - 2) 人工軽量コンクリート床版に用いる鉄筋は、異形鉄筋 SD 30 とし、許容付着応力度は 12.5 kg/cm^2 とする。また、鉄筋の重ね継手長および定着長は表-2に示す値以上を取ること。
- 表-2 鉄筋の重ね継手長および定着長 (cm)

鉄筋	SD 30				
	D13	D16	D19	D22	D22
	50	60	70	80	95

1) について

人工軽量コンクリート床版の鉄筋のかぶりは、普通コンクリート床版の場合と同等でよいが、「人工軽量骨材コンクリート設計施工指針（案）」に従い、普通コンクリートの最小かぶり2.0 cmに1.0 cm加えた値とした。

2) について

人工軽量コンクリートの付着強度は、その強度、配合、骨材の種類、鉄筋の種類、径、埋込み長などによって、かなり異なった値を示しているが、普通コンクリートに比べると、同程度またはそれ以下となっている。「人工軽量コンクリート設計施工指針(案)」および「鉄筋コンクリート標準示方書」(土木学会)に示された許容付着応力度は表-3のとおりである。表-3から計算される異形鉄筋 SD 30 の最小重ね継手長、定着長を表-2に示した。

人工軽量コンクリートは普通コンクリートに比較し、引張強度、付着強度が小さいため、ひびわれが発生しやすい。そのため、異形鉄筋を用い、付着をよくし、ひびわれ間隔を小さくすることとした。

表-3 許容付着応力度

		σ_{ck} (kg/cm ²)				
		210	240	270	300	350
人工軽量コンクリート	丸 鋼	5.3	5.5	6.0	6.5	6.8
	異形丸鋼	9.5	10.0	11.0	12.0	12.5
普通コンクリート	丸 鋼	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
	異形丸鋼	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0

3) プレキャスト桁と床版との接合部に沿って働く最大水平せん断力は、支点からプレキャスト桁の桁高だけ離れた、断面位置でのせん断力を用いて求めてよい。

4) 接合部に配置する結合鉄筋の最小断面積は、接触面積の 0.2% 以上としなければならない。

5) プレキャスト桁と床版との間の許容付着応力度は 4 kg/cm² とする。また、上記最小結合鉄筋のほかに結合鉄筋を配置する場合は、接触面積の 1% を増すごとに許容付着応力度を 2 kg/cm² 増してよい。

3), 4), 5) について

プレキャスト桁と床版との接合部には、死荷重、活荷重、プレキャスト桁と床版とのクリープ差、乾燥収縮差および温度差により水平せん断力が作用し、これに対しては接合面の付着力で抵抗するものとする。

桁の支点付近は反力により、接合面に大きな圧縮力を生じ、そのため見かけ上の付着力を増大させ、水平せん断力に有利に作用している。実験データによると、支点から約桁高はなれた位置までの接合面は、水平せん断力によるずれが生じにくくなっている。そこで、最大水平せん断力を求める位置を 3) のように定めた。

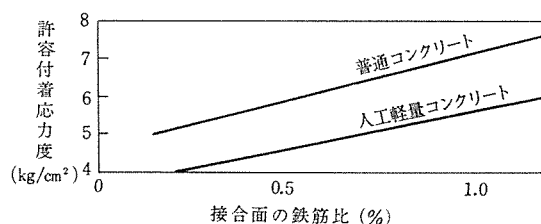
なお、上述のとおりプレキャスト桁と床版とのクリープ差、乾燥収縮差による影響は省略してもよいとしたので、設計計算では死荷重、活荷重および温度差について

求めればよい。

過去の普通合成桁の実験データからみると、結合鉄筋が増加するにつれ見かけ上の付着力も増加している。「プレレストコンクリート道路橋示方書」に定められた接合面の結合鉄筋比と許容付着応力度の関係を、図-3に示す。人工軽量コンクリートでは、付着強度、支圧強度、引張強度が低いこと、ずれ変形が大きいことを考慮し、一応最小鉄筋量を多くし、許容付着応力度を低く押えた。

なお、軽量合成桁の接合面については次項に掲げる実験を行ない、安全性の確認を行なった。

図-3 接合面の鉄筋比と許容付着応力度



4. 軽量合成桁の接合面に関する実験

現在のところ、「普通合成桁」に関する関係諸資料および設計施工示方書等は、一応完備されていると考えられる。普通コンクリートに比較して、せん断強度および曲げ引張強度が軽量コンクリートでは劣ることが判明している。ところが、「軽量合成桁」については試験データがない。そこで、「軽量合成桁」に関する性質、特に、合成桁が合成後載荷される荷重に対し一体の断面として働けば、その合成効果があると考えられることから、プレキャストPC桁と軽量場所打ち床版との接合面に着目し、載荷試験によって、設計資料となるべき基礎データを得る目的で試験を実施した。

(1) 試験の概要

「軽量合成桁」を設計施工する上での問題点を列挙すると、次のようになる。

a) 接合面の仕上げ状態：接合面には、ずれ止めの鉄筋が出ているので簡単な仕上げ方法がよい。一般に実施されている“木ごて仕上げ”で十分であるか。

b) 打継ぎ方法：「一体型」、「合成型」、「絶縁型」の3種類を取り上げ、それらの間にどのような違いがみられるか。

c) 接合面に対する“結合鉄筋”断面積の割合(鉄筋比)：鉄筋比の増加による、結合強度への影響はどうか。

(d) ずれの状態：接合面に沿ってのずれがどのような状態になるか。また荷重位置によってどのように変化するか。

(e) 結合鉄筋の配置、形状：結合鉄筋は、スターラ

ップを延長して用いる形式が施工上望ましいが、その形状、配置をどうするか。

f) コンクリートの強度

g) 軽量骨材の相違

a)~g) 等の問題点解決に糸口となるべく基礎データを得るため、次のような実験を行なった。

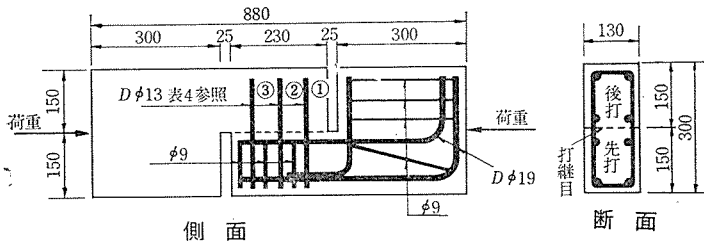
- 1) プッシュ オフ試験
- 2) 小型桁試験
- 3) 中型桁試験

プッシュ オフ試験は純せん断試験で、これによりコンクリート打ち継ぎ面の基本的な性質を求め、これを長さ 2m の小型桁試験で確認し、さらに長さ 10m のほぼ実物大に近い中型桁試験で再確認した。

(2) プッシュ オフ試験

a) 試験体について 接合面の基本的な性質を求めため、図-4 に示すような供試体を作成した。各供試

図-4 プッシュオフ試験供試体



体はL型の桁部と床版部とからなっており、接合面は13×23 cm=300 cm² の大きさをもっている。

結合鉄筋は Dφ13 (SD 30) □型を 1 組として、0~3 組の 4 種類である。それぞれの接合面に対する鉄筋比は、0, 0.85, 1.70, 2.25 % となっている。

接合面の打継ぎ方法は、一体型 (I 型)、合成型 (C 型)、絶縁型 (S 型) の 3 種類をとりあげた。I 型は、桁部を木ごて仕上げした後、直ちに床版部を打設する。C 型は、桁部を木ごて仕上げした後養生し、材令 5 日で床版部を打設する。S 型は、仕上げおよび打設時点を C 型と同じにし、床版部の打設前日に 4 % 石けん液を接合面に塗布する。

軽量コンクリートに使用する軽量骨材は、現在一般に市販されている、M社製非造粒型骨材 (記号M) と、S社製造粒型骨材 (記号B) とした。

本実験では、供試体の数に制限があり、コンクリートの強度の影響を調査していない。一般に首都高速道路の PC 桁に採用している強度 σ_{ck} 、すなわち、桁部は 400 kg/cm²、床版部は 350 kg/cm² の一種類とした。

供試体の種類は表-4 に示すとおりである。供試体名は、たとえば MC-4 と書き、Mは軽量骨材名、C は打継目の種類、4 はスターラップ鉄筋本数を示す。

表-4 プッシュ オフ試験供試体の種類

打継目種類	スターラップなし	スターラップ2本	スターラップ4本	スターラップ6本	個数
一体型 (記号I)	0 (I-0)	② (I-2)	① ③ (I-4)	①②③ (I-6)	3@4=12
合成型 (記号C)	0 (C-0)	② (C-2)	① ③ (C-4)	①②③ (C-6)	3@4=12
絶縁型 (記号S)	0 (S-0)	② (S-2)	① ③ (S-4)	①②③ (S-6)	1+3@3=10

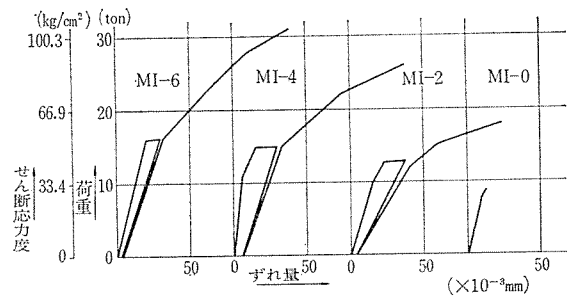
①~③ は図-4 のスターラップ番号を示す。合計 M+B=68 個

b) 試験方法 プッシュ オフ 供試体は、コンクリート打設時の状態から 90° 回転させ、接合面が鉛直になるように、アムスラータイプの圧縮試験機にセットし、純せん断力を作用させ接合面の両側に設置した 1/1 000 mm ダイヤルゲージにて変位を記録した。

c) プッシュ オフ試験結果 結合鉄筋のない供試体では、荷重を増加していった時の相対ずれ量が、“I 型”で 0.020~0.025 mm、“C型”で 0.010 mm、で“S 型”で 0.005~0.010 mm に達すると急激に分離し落下した。

結合鉄筋のある供試体は、ずれ量が 0.03~0.04 mm までほぼ直線的と思われるが、この値をすぎると徐々に傾斜がゆるくなり、0.08~0.10 mm 付近になると急激にずれが進行しはじめ、その後の荷重増加は、わずかであった (図-5)。

図-5 プッシュオフ試験荷重-ずれ曲線



(3) 小型桁試験

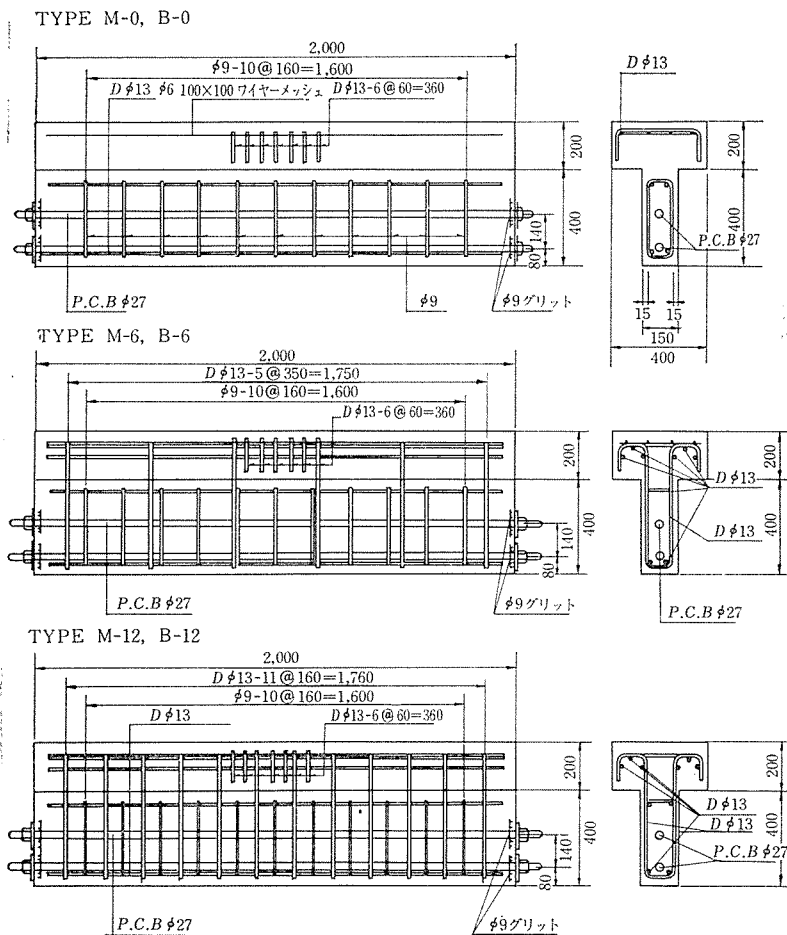
a) 試験体について 曲げを与えた時の接合面の状態を試験するため、桁が曲げ破壊を起こす以前に床版と桁の接合面に大きいせん断力が生じるような小型桁を用いた。試験体の構造および種類については、図-6、表-5 のとおりである。なお、コンクリートの強度試験材令は

表-5 試験体の種類

骨材	接合面	スターラップ-0 鉄筋比=0	スターラップ-6 鉄筋比=0.5 %	スターラップ-12 鉄筋比=1.0 %
M	I	2 個	2 個	2 個
	C	2 〃	2 〃	2 〃
B	I	2 〃	2 〃	2 〃
	C	2 〃	2 〃	2 〃

計 24 個

図-6 小型桁試験の試験体構造図



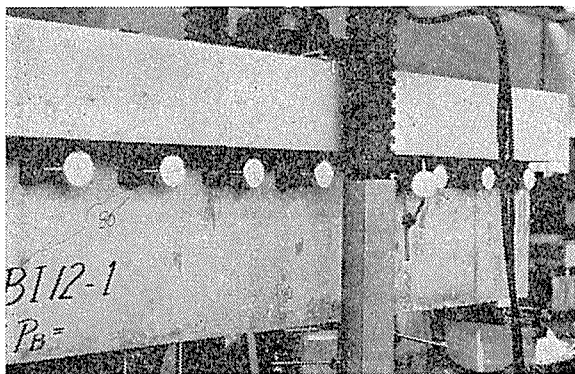
プッシュ オフ試験と同じである。

b) 試験方法 荷重試験はプッシュ オフ試験と同じくアムスラータイプの圧縮試験機を使用し、スパン中央で1点荷重した。

測定は、接合面のずれおよびたわみを 1/1 000 mm ダイヤルゲージにて行なった(ずれ 19 点, たわみ 5 点)。また、念のため、スパン 1/4 点でスラブ上縁の圧縮コンクリートひずみを、同じくウェブのコンクリートひずみを、それぞれ三軸のストレインゲージにて測定した。

結合鉄筋の応力を測定するために、スパン 1/4 点近傍

写真-1 小型桁試験荷重状況



の結合鉄筋の接合面近くにもストレインゲージをはりつけ応力を測定した。

c) 小型桁試験結果 試験結果より、「ずれ最大点の荷重—ずれ曲線」,「荷重—ずれ分布経過曲線」,「たわみ進行曲線」,「スターラップひずみ進行曲線」,を作成してみると次のようなことがわかる。

結合鉄筋のある桁のずれ分布経過状況は、荷重が小さい段階では全スパンにわたってそれほど差はみられないが、スパンの 1/4 点あるいは 3/8 点の最大ずれ量が 0.07~0.08 mm をこえると、急激に 1/4 点あるいは 3/8 点が大きくなり凸型となりはじめた。同時にスラブ下縁にきれつが入り、この時点で接合面が分離して重ね合せばりになったと思われる。また、「ずれ最大点のせん断応力—ずれ曲線」の 0.08 mm までの経過をよりくわしく観察すると、0.03~0.05 mm 付近を分岐点として、少しずつずれ量のふえる割合が増加している。すなわち、図の傾斜がゆるくなってきている。

「たわみ進行曲線」をみると、スラブ下縁部にきれつが入った時点で「たわみ進行曲線」が折れ曲っている。また「スターラップひずみ進行曲線」をみると、荷重が増加してゆくと最初は圧縮応力が作用しているがずれ量が 0.07~0.08 mm 時で急に引張応力になって、急激に大きくなっている(図-7~10)。

これらのことは、「合成型」と「一体型」とでほぼ同じようであるといえる。

以上のことから、0.08 mm ずれ量以後のせん断耐力がわずかであるといえるが、このことは、プッシュ オフ試験の結果と一致している。

一方、結合鉄筋のない桁では、ずれ量が 0.03~0.04 mm に達すると、あとは際限なくずれがおこり完全に重ね合せばりになったようである(図-11)。

次に破壊の状況について述べる。結合鉄筋のない場合、支点から荷重点への斜めひびわれが発生して、せん断破壊した。

結合鉄筋のある場合は、プレキャスト桁下縁に曲げひびわれが発生し、それが上方斜めひびわれの発生とともに発達、桁上縁まで達した。さらに荷重を増加すると、ずれは増大し、曲げひびわれは桁上縁近くで閉じてしまう。と同時に、スラブ下縁にひびわれが発生し、続いてスラブ中央高さに八の字のせん断きれつが入り、荷重点

図-7 ずれ最大点の荷重-ずれ曲線

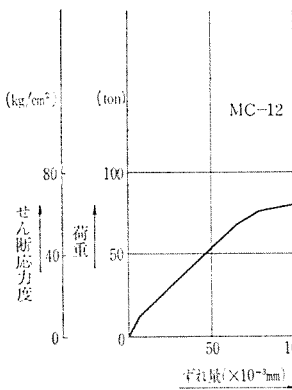


図-8 荷重-たわみ図

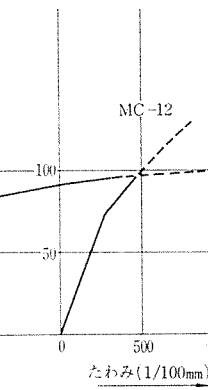


図-9 スターラップひずみ曲線

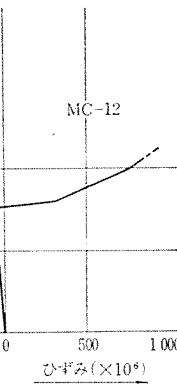


図-10 荷重-ずれ分布経過状況

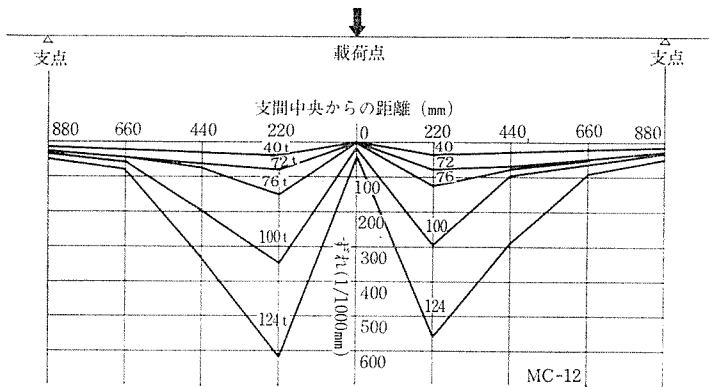


図-11 荷重-ずれ分布経過状況

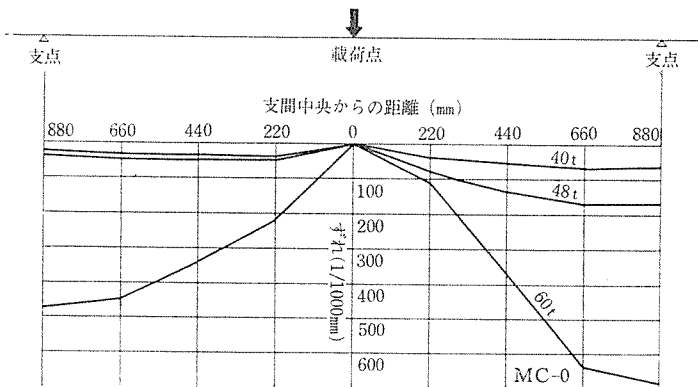
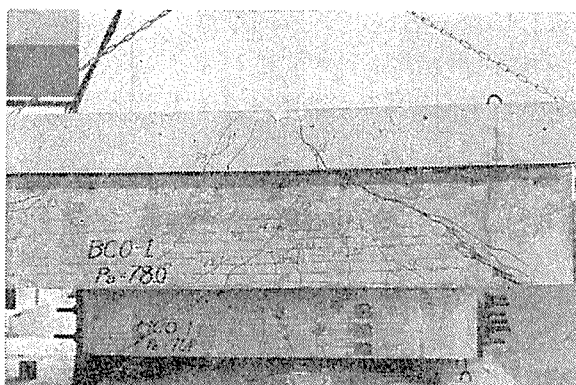


写真-2 小型桁試験破壊状況 (結合鉄筋のない場合)



の所でコンクリートが圧壊した。

合成型と一体型とは、破壊の様相は同じであった。

(4) 中型桁試験

a) 試験体について 試験体の構造は図-12に示すごとく、スパン 8.5 m の T 型ばりからなっている。端部はスラブをとって応力の流れが一様となるようにした。

結合鉄筋は U 型でスターラップとなっており、19 cm ピッチに配置され、鉄筋比は 0.68 % となっている。使用した鉄筋は $D\phi 13$, SD 30 である。

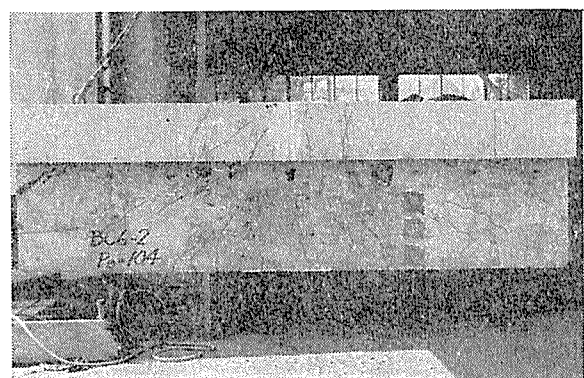
試験体の種類は「M 型」、「B 型」の両者を合せて $2 \times 3 = 6$ 本の合成桁を作成した。同一の桁を 3 本作成したのは、支点から荷点までの距離、いわゆるせん断スパンの条件を三通りに変化させて試験を行なうためである。せん断スパンは 0.65 m, 1.85 m, 3.05 m の 3 種類で、せん断スパン比 (せん断スパン/桁高) はそれぞれ 0.72, 2.06, 3.35 である。

なお、コンクリートの強度と試験材令はプッシュオフ試験と同じである。

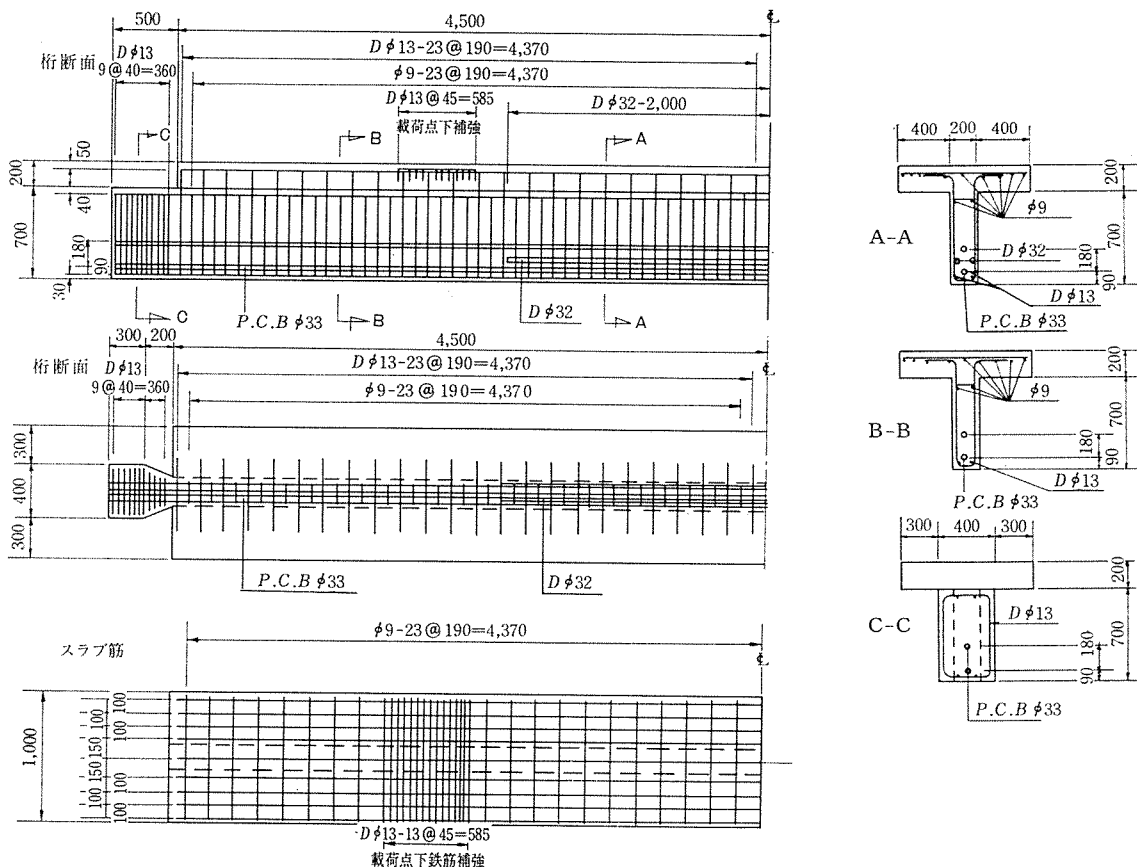
b) 試験方法 荷重試験は、ラーメン形式の荷重フレームを用い、2 点荷重を行なった。

測定内容は小型桁試験と同様で、接合面のずれ、たわみおよびスパン中央とせん断スパン中央のコンクリートひずみを測定した。また、せん断スパン中央付近のスターラップの鉄筋応力も同様に測定した。図-13 に中型桁試験の荷重および測定位置説明図を示す。

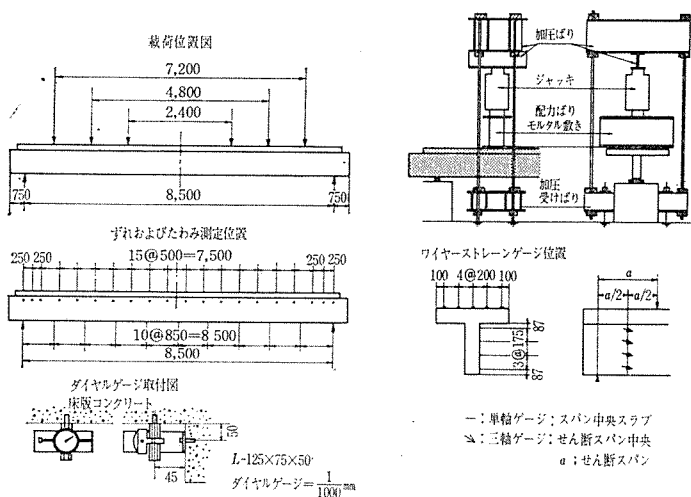
写真-3 小型桁試験破壊状況 (結合鉄筋のある場合)



図—12 中型桁試験の試験体構造図



図—13 中型桁試験の荷重および測定位置図



c) 試験結果

1) せん断スパン 0.65 m : 荷重の増加とともに、載荷点と支承の間にずれがみられ、ちょうど両者の 1/2 点に最大値が認められた。

この種の桁では、ずれが 0.03 mm を過ぎてても、また 0.08 mm を過ぎてても、ずれの急激な変動がみられず、載荷能力を考慮して、荷重合計が 200 t で実験を打ち切った。

載荷点内側は曲げモーメントが一定なため、曲げひび

われがほぼ当間隔に入ったが、最終荷重時でも桁部の中央に達しただけである。支承と載荷点の間には、斜めひびわれが入った。

2) せん断スパン 1.85 m : ずれが 0.03~0.04 mm に達すると、ずれ量が急激に増加し、曲げひびわれは、ずれ量が 0.03~0.04 mm に達した次の段階で入り上方へ発達したが、荷重が 45 t に達すると曲げひびわれの進行は、桁上縁で止ったようである。荷重をさらに増加してゆくと、載荷点と支承との間に入った斜めひびわれが急激に発達した。

その後、破壊近くになると荷重直下と斜めひびわれが大きく広がり、間もなく荷重直下のスラブ下縁にクラックが入った。

完全な破壊は、スラブ上縁のコンクリートの圧縮でおこり、桁部の引張鉄筋は伸びきっていた。

3) せん断スパン 3.05 m : 2) の桁と似たような経過をたどったが、曲げの影響が強いため、ずれ量が 0.03~0.04 mm に達するよりも、曲げひびわれの方が先行した。

(8) 結 論

プッシュ オフ試験 68 個、小型桁試験 24 個、中型桁試験 6 個の実験結果をとりまとめると次のようになる。

1) 合成効果と接合面のずれとの関係は、ずれ量が

報 告

0.03~0.04 mm までだと、ほぼ直線的で一体性を保っているようであるが、この値をすぎると徐々に傾斜がゆるくなり合成効果が減少し、約 0.08~0.10 mm に達すると、急激にずれが進行しはじめて、接合面は合成効果を失い、重ね合せばりに変化すると考えられる。

2) プッシュ オフ試験は定性的に桁のせん断一ずれ曲線をよく表わしており、接合面の性質を決定するのに有効な手段といえる。

ただし強度的には、桁試験に比べてプッシュ オフ試験の結果が大きくでており、1:1 の相似性は見られない。

3) 打継ぎ方法のせん断抵抗におよぼす影響についてみると、プレキャスト桁の上面を木ごて仕上げし、その上に軽量コンクリートを打継いだ「合成型」は、「一体型」とほとんど差がないといえる。

それに比べて、「絶縁型」は他と差があり、特に破壊時に大きな差がでて、鉄筋比の増加による効果もほとんど期待できないようである。

4) 結合鉄筋比のせん断抵抗におよぼす影響は、相対ずれ量 0.03 mm の時、破壊時とも影響ははっきりでている。プッシュ オフ試験結果を統計的に処理すると、「合成型」については、鉄筋比を 1% 増すと、接合面のせん断強度はおおよそ次の値だけ増加する。①相対ずれ量 0.03 mm の時 $4\tau_y=11\sim13 \text{ kg/cm}^2$ 、②破壊荷重時 $4\tau_u=21\sim23 \text{ kg/cm}^2$ 。また、この結果を桁に適用する場合は、両方の値を次の値まで下げておく必要がある。① $4\tau_y=6\sim7 \text{ kg/cm}^2$ 、② $4\tau_u=14\sim16 \text{ kg/cm}^2$

したがって、結合鉄筋は接合面の強度を増すのに効果的な方法の一つであると考えられる。

なお、日本道路公団で行なった「コンクリート合成桁の接合面に関する研究」(昭和 41 年 8 月)によると、普通コンクリート床版を用いたコンクリート合成桁の場

合、① $4\tau_y=10 \text{ kg/cm}^2$ 、② $4\tau_u=20 \text{ kg/cm}^2$ という結果がでており、本実験の軽量コンクリート床版を用いたコンクリート合成桁の場合は、それよりも小さな値を示している。

5) 人工軽量骨材は、造粒型(記号 B)と非造粒型(記号 M)を実験に使用したが、M 型の試験結果には少々ばらつきがみられた。しかし、全体的な傾向としては、両者の間に大きな差がみられなかった。

6) 桁の接合面におけるずれ分布をみると、最大ずれ発生位置は

小型桁 スパンの 1/4~3/8

中型桁 支承と載荷点の間

である。

これは、支承反力あるいは荷重下における圧縮力が効果的に働き、支承部あるいは載荷点付近のせん断抵抗を高める結果と考えられる。

7) 前項「軽量合成桁の設計」で述べた接合面に関する設計要領は十分に安全であることが確認された。

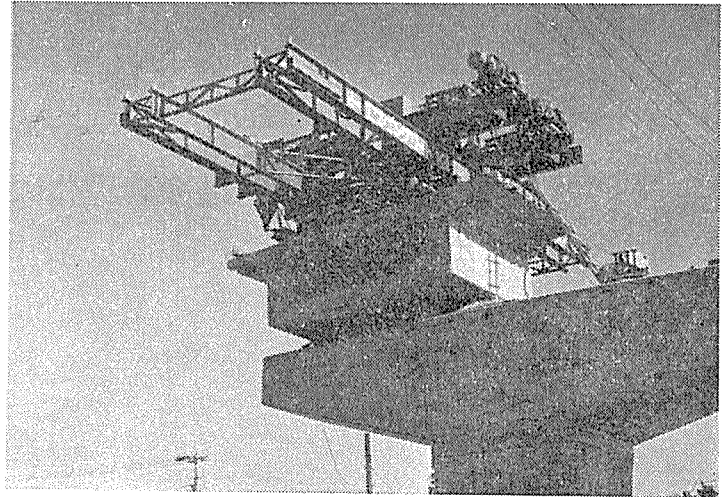
5. あとがき

以上、軽量合成桁の設計方法とそれに関連して行なった実験についての概要を紹介した。首都高速道路 3 号線(Ⅱ期)の軽量合成桁を用いた工区は、昭和 44 年 5 月着工し、昭和 46 年 1 月現在ほぼ完成した。この形式の合成桁は、主として経済性の有利なことより今後用いられるケースが多くなることと思われるが、より経済的で安全な構造物とするには、まだ実験、研究に待つところが多い。

今回行なった「軽量合成桁の接合面に関する実験」については、住友建設(株)技術研究所の山本隆治氏に多大なご協力を頂き、ここに感謝の意を表します。

1971.1.23・受付

PC架設機 の 設計・製作



プレキャストブロック架設機
(首都高速3号線)

三信工業株式会社

東京都千代田区神田錦町1-4 (滝本ビル5階)

TEL (294) 5131・5132

PAT No. 467154
532878

LPPセンターホール
ジャッキ

PC同時緊張機

PAT No. 569584

PC・各工法用ジャッキ・ポンプ・油圧機器・試験機

OX山本扛重機株式会社

東京都中央区新富町二丁目八番地
TEL 東京 (551) 局 2115~9