

V-10 鋼板を合成したコンクリート床版の静的曲げ性状および押抜きせん断耐力について

北海道大学 正 藤田 嘉夫
 北海道庁 正 荒木 良悦
 石川島建材工業(株) 正○富沢 三郎
 新日本コンクリート(株) 正 本堂 直和

1. 目 的

近年の交通量の増大、車輛の大型化によって、橋梁の主要部材の中でも特に床版が苛酷な状態におかれている。このため、過去の道路橋示方書の規定によって設計された橋梁床版の損傷が進行して、全面的な補修張換え工事を行う機会が急速に増加している。この床版の張換工法としては、① 迂回路を設けた全面的な施工、② 片側通行規制による片側施工、③ 夜間のみの全面的交通規制による反覆施工、等がある。従来はいずれの場合も、主として場所打ち方式が行われていたが、最近はプレハブ方式で急速施工する例が多くなってきている。

本研究は床版張換え工事の急速施工を目的として開発された、鋼とコンクリートを合成した合成床版(C.S)の曲げ性状および押抜きせん断耐力に関するもので、鉄筋コンクリートスラブ(RC)の性状と比較検討したものである。

2. 実験方法

2.1 供試体

供試体は月形大橋床版張換え工事に使用した合成床版の形状、寸法を考慮して定めた。

曲げ供試体は、長さ2200cm、幅1000cm、スパン1800cm、厚さ16cmとした(図-1、図-2)。合成床版は、4.5mmの鋼板(SS41)上にパイプジベルを図-1のようなピッチにて溶植し、コンクリートと合成させた。合成床版の疲労特性は、昭和45年度建設省工業技術補助金による実験より、ジベルを溶植されている鋼板の200万回時間疲労設計強さを800%と定めている。¹⁾

RCスラブ供試体は、合成床版の場合と同様の設計曲げモーメントにて、鉄筋(SD30)の許容応力度を1400%を採用して設計し、図-2のように決定した。供試体は各々2体ずつとした。

押抜きせん断供試体は、幅、厚さ、配筋、ジベル等は曲げ供試体と同様にし、長さのみ120cmとし、供試体は各々3体ずつとした。

コンクリートの配合は、 $\sigma_{ck} = 350\%$ を目標として表-1に示す値を採用し、コンクリ

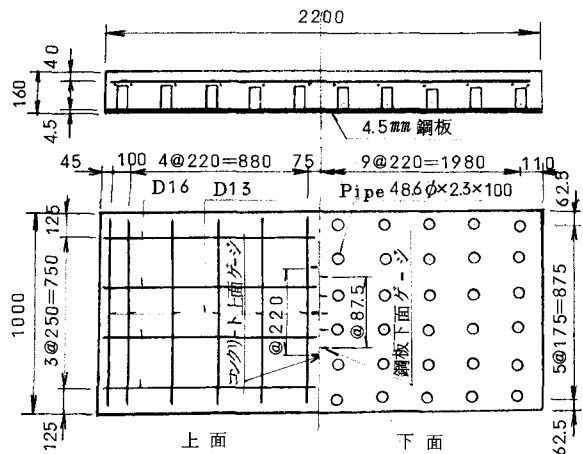


図-1 合成床版曲げ供試体(C.S)

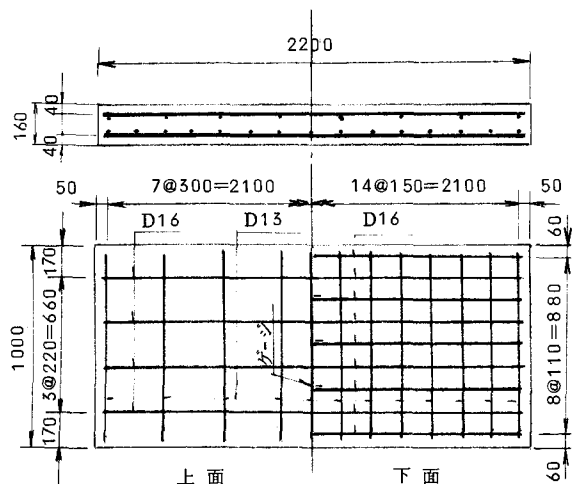


図-2 鉄筋コンクリートスラブ曲げ供試体(R.C)

ート打設は三笠市内のコンクリート工場にて行った。

2.2 測定項目とその位置

各荷重段階で測定した項目は次のようである。

曲げ試験

- 1) ヒビワレ荷重、破壊荷重
- 2) スパン中央のタワミ
- 3) スパン中央のコンクリート上縁、鋼板下面、主筋のヒズミ
- 4) ヒビワレの進行状況
- 5) 鋼板とコンクリートのズレ
- 6) 破壊状況

曲げ供試体ではスパン中央のコンクリート上面3ヶ所、鋼板下面5ヶ所、および主鉄筋に3ヶ所のストレインゲージを貼付しヒズミ測定用とした。コンクリートのヒビワレ幅と、鋼板とコンクリートとのズレを測定するために鋼板と、そのごく近傍のコンクリート側面にコンタクトボールを埋込んだ真鍮片を10cm間隔に貼付した。RCスラブの場合は、主鉄筋の位置の1側面にコンタクトボールを同様に貼付した。ゲージ貼付位置は図-1、2に示す。タワミはスパン中央及び両支点の側面で測定した。押抜きセン断供試体では、タワミ、ヒズミの測点を設けなかったが合成床版のみ上記3)を測定した。

2.3 載荷方法

載荷試験は、北海道大学コンクリート実験室にて、容量100tonのアムスラー型試験機を使用し行った。曲げ試験においては、写真-1にみられるように、スパン180cm、曲げスパン40cmの2点載荷とし、押抜きセン断試験では、スパン90cmの2辺支持とし、10×10cmの支圧板を中央におき1点載荷とした。

曲げ試験における載荷段階は2ton毎としたが、ヒビワレ発生附近では0.5ton刻みとしヒビワレ発見に慎重を期した。又床版の設計曲げモーメント ($M_1 = 2.196 \text{ t-m}$) に相当する荷重 $P = 6.27 \text{ ton}$ の1、1.5及び2.0倍で3回載荷を繰返し、残留量を測定した。押抜きセン断試験では漸増載荷とした。

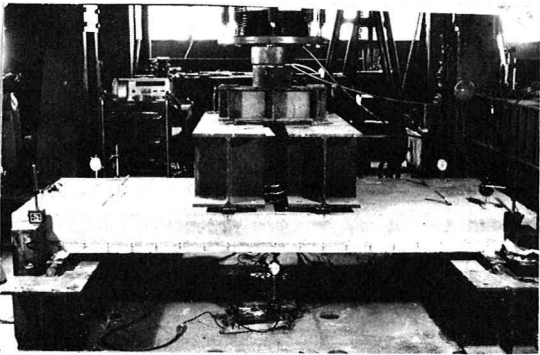


写真-1

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法	スラブ mm	空気量 cm	水セメント 比 %	細骨材 率 %	単位重量 kg/m^3				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
25	5	2	31.2	38.7	141	452	716	1135	3.6

3. 実験結果と考察

3.1 破壊およびヒビワレ曲げモーメント

写真-2、3は曲げ試験における破壊時のヒビワレ状態で、セン断スパンのヒビワレは合成床版では、ジベル位置に、RCスラブではおおそ配力筋間隔に生じている。ヒビワレは荷重の増加に伴い成長し、上縁近傍まで達している。

表-2は、設計曲げモーメント (M_1)、抵抗曲げモーメント ($\bar{M}_r$)、破壊曲げモーメントの計算値 ($\bar{M}_b$) と実測値 (M_b) を示したものである。この表で合成床版は、 M_b は $\bar{M}_r$ の4倍、RCスラブは3.5倍となり合成床版の方が高い。これは鋼材の許容応力度を合成床版では800 $\%$ 、RCスラブでは1400 $\%$ にしているためである。n=15とn=7とした場合の相違は、n=7の方が $\bar{M}_r$ の計算値を多少大きくするがその差は数パーセントにすぎない。

破壊曲げモーメントの計算値 $\bar{M}_b$ は、道路橋示方書に準じて次式より計算した。²⁾

391

3.3 曲げ試験におけるコンクリート、鋼板および鉄筋のヒズミ

合成床版とRCスラブの曲げ試験における荷重-ヒズミ曲線を図-3に示す。計算値は $n = 1.5$ と、 $n = 7.5$ ($E_c = 280000 \text{ kg/cm}^2$: 実測値) の両方について示してある。

この図より、鉄筋のヒズミは $n = 1.5$ 、 $n = 7.5$ のいずれの場合でも大差なく、計算値とは、鋼板、鉄筋の降伏荷重 P_y 附近では、RCスラブはほぼ一致するのに対して、合成床版は、少し小さくなる傾向にあり、 P_y 以上に荷重が増大するとその差が開く傾向になる。このことは、高応力度域(設計荷重の約4.4倍)におけるジベルの合成効果の低下により、鋼板のズレが生じるためと判断される。

コンクリートの上縁のヒズミの計算値

は、 $n = 1.5$ の場合は過大な結果を与え、 $n = 7.5$ の場合の方が P_y 付近で実測値と良い一致を示している。しかし、合成床版の場合は、鉄筋のヒズミの場合と同様の傾向を示し、 P_y 以上の荷重範囲では差が大きくなる。

合成床版の鋼板のヒズミについてスパン方向にジベルの通っている位置とジベルの中間位置とで比較したが、鋼板の降伏ヒズミ以下の荷重では、両者の差は殆んど認められない。それ以上の荷重では中間部の方がわずかに高いヒズミを示した。

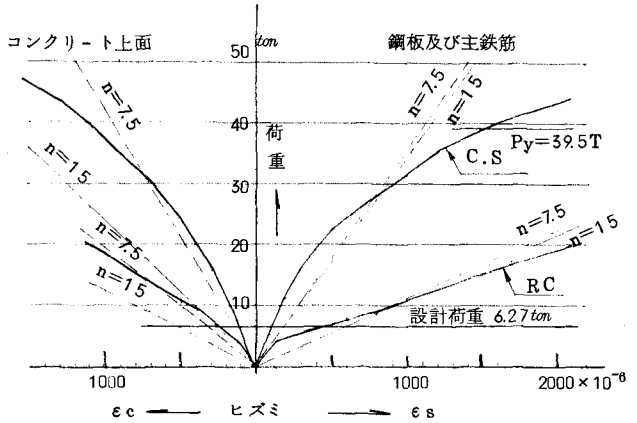


図-3 荷重-ヒズミ曲線

3.4 曲げ試験におけるタワミ

図-4は荷重Pとスパン中央のタワミδの関係を示したものである。合成床版では、荷重の増加につれて実測値は計算値より大きくなっていく傾向を示している。これは、高応力度域(設計荷重の4.4倍以上)におけるジベルの合成効果の低下を意味している。しかし実用上は設計荷重の3倍以上でのことであり問題はない。一方RCスラブでは比較的良好な一致がみられる。

タワミの計算は、現行の我国のRC示方書では、状態1として行っているが、土木学会終局強度設計小委員会：コンクリート構造設計指針(第2次素案)⁴⁾では、ヒビウレ発生後は、有効断面2次モーメント I_e を用いて計算するように提案されているので後者で行い、参考に状態2の計算値も示した。

$$\delta = \frac{P l^2 a}{2 \times 24 E_c I_e} \left[3 - 4 \left(\frac{a}{l} \right)^2 \right]$$
$$I_e = I_1 \left[\frac{I_2}{I_1} + \left(1 - \frac{I_2}{I_1} \right) \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^3 \right] \leq I_1$$

ここに I_e = 有効断面2次モーメント
 I_2 = 状態2における断面2次モーメント
 I_1 = 状態1における断面2次モーメント
 M_{cr} = ヒビウレ曲げモーメント

$$M_{cr} = M_{0.05} = P_{0.05} \times 0.7 / 2 \text{ t-m}$$

M = 任意の曲げモーメント

E_c = コンクリートのヤング係数。実測値の

$E_c = 280000 \text{ kg/cm}^2$ を用いた。

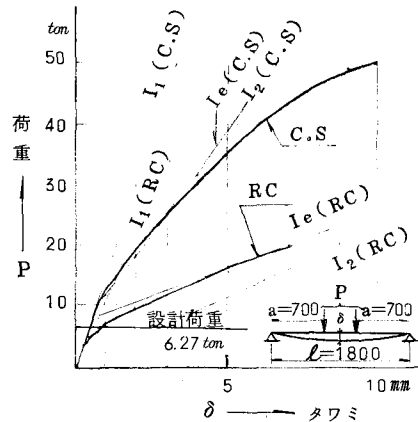


図-4 荷重-タワミ曲線

3.5 曲げ試験における鋼板のズレ

合成床版の鋼板とコンクリートのズレは、ヒビワレの場合と同様に供試体の片側面についてのみ測定した。図-5は鋼板とコンクリートとのズレ量、コンクリートのクラック幅と、荷重の関係をスパン中央付近で図示したものである。

図より、コンクリートのクラック幅は、荷重の増荷に伴い漸増しているが、鋼板とコンクリートのズレは荷重 $P = 1.9 \text{ ton}$ 付近で急増している。この急増している最大のズレは荷重点から 45° 方向に広がったセン断スパンの位置に生じていることがわかる。またこの点は、ヒビワレ幅の増加傾向が変化する荷重と一致し、それ以上の荷重ではコンクリートのヒビワレ幅より、ズレ量が多くなっている。しかし鋼板のズレは破壊荷重に至るまで降伏する傾向は認められなかった。

これより鋼板のズレは増加傾向が変る $P = 1.9 \text{ ton}$ を鋼板のズレ開始荷重とみなすと、設計荷重に対して $1.9 / 6.27 \div 3$ の安全率を、又破壊の形式が曲げ破壊ゆえ、破壊に対しては $P_b = 58.1 \text{ ton}$ より $58.1 / 6.27 \div 9$ 以上の安全率を有していることがわかる。

鋼板のズレが始まる時のジベル1本に作用する分担セン断力 Q_0 は

$$Q_0 = \frac{SG}{IB} (a \cdot b) = 2.91 \text{ ton/本}$$

ここに I = 断面2次モーメント (cm^4)、 B = 幅 (cm)

S = セン断力 (ton)

G = 中立軸に関する鋼板の断面1次モーメント (cm^3)、 a, b = 幅・長さ方向のジベル間隔 (cm)

一方ジベル1本の許容分担セン断力 Q_a は、

$$Q_a = A \cdot \tau = 2.68 \text{ ton/本}$$

以上より、 $Q_0 / Q_a \div 1.0$ を得る。すなわちジベルの許容値と同等の荷重でズレ始まることがわかる。

破壊荷重に対して同様な計算をすると、 $P_b = 58.1 \text{ ton}$ に対して $Q_b = 8.9 \text{ ton}$ となり、 $Q_b / Q_a \div 3.3$ となるが、ジベルには何ら異常は見られなかった。

3.6 押抜きセン断耐力

表-4は押抜きセン断力の許容計算値 $\bar{P}_r$ および最大耐力の計算値 $\bar{P}_b$ と実測値 P_b とを比較したものである。この表の中で $\bar{P}_r$ は、道路橋示方書(コンクリート橋編)より、許容セン断応力度 τ_a を σ_{cb} に応じて推定して次のように求めた。

$$\bar{P}_r = \tau_a \times b p \cdot d$$

単位 ton

また $\bar{P}_b$ は RC スラブに対する次式⁵⁾を用いて計算した。

供試体	d cm	bo cm	σ_{cb}^* $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	bp cm	τ_a $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	σ_{sy}^* $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	実測値	計 算 値		$\frac{P_b}{\bar{P}_r}$	$\frac{P_b}{\bar{P}_b}$
							Pb ①	許容耐力	最大耐力	①/②	①/③
								$\bar{P}_r$ ②	$\bar{P}_b$ ③		
C.S	15.775	40	415	104	5.65	3410	52.5	9.27	60.9	5.7	0.86
R.C	12.0	40	461	104	6.11	3605	37.5	7.63	30.0	4.9	1.25
CS/RC							1.40		2.03		

※印 実測値

表-4 押抜きせん断耐力

$$\bar{P}_b = 0.674 (bo + 3 td) d \sqrt{\sigma_{cb}} \left(1 + \frac{p \sigma_{sy}}{\sqrt{\sigma_{cb}}} \right) / \left(1 + \frac{d}{20} \right)$$

ただし、 $P \sigma_{sy} / \sqrt{\sigma_{cb}} > 3.33$ のときは 3.33 とする。

表より押抜きセン断耐力は、合成床版では RC スラブの 1.4 倍程度であること、道路橋示方書の押抜きセ

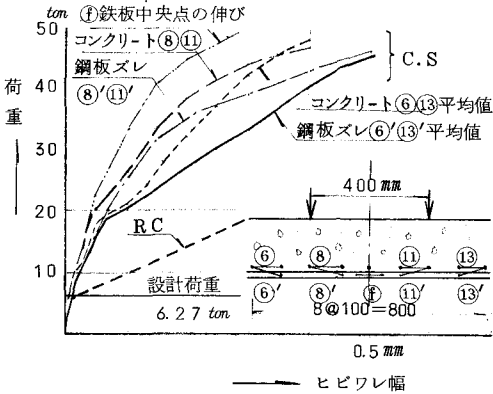


図-5 鋼板のズレとコンクリートのヒビワレ幅

ン断に対する検算は最大荷重に対して、約5倍の安全率を有することが判明した。また最大耐力について、RCスラブでは実測値は計算値の約1.25倍となり安全側の結果を得た。一方合成床版は、同比率が0.86倍とやや低めの結果となった。このことは、3.5で述べたごとく荷重19ton附近で鋼板とコンクリートがズレ始めるといふ結果よりうなずける値であると判断される。

図-6は鋼板のX, Y方向のヒズミを各荷重毎に示したものである。この図より、荷重 $P=30\text{ ton}$ 附近で鋼板とコンクリートがズレ、応力の再分配がなされていることがわかる。

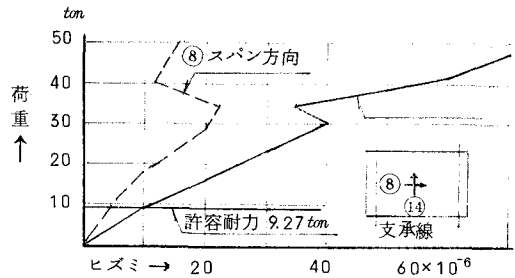


図-6 押抜きセン断における鋼板の荷重-ヒズミ曲線

4. ま と め

実橋の車道床版と同寸法の合成床版と、RCスラブについて静的曲げ試験ならびに、押抜きセン断試験を行った結果次のような成果が得られた。

- 1) 曲げに対して合成床版、RCスラブいずれも鋼材の降伏にともない上縁のコンクリートの圧壊によって破壊する。
- 2) 破壊曲げモーメントは、設計曲げモーメントに対して、合成床版が9.4倍、RCスラブが4倍の安全率を得、さらに合成床版は、RCスラブの2.4倍の曲げ強さを得た。これは両者のスラブ厚を同じにした場合、合成床版の方が有効高さが大きくでき、かつ鋼板の許容応力度を800%₄(疲労より決定した値)とおさえているためである。
- 3) 0.05mmのヒビワレに対して、合成床版はRCスラブの1.8倍のヒビワレ耐力を有する。又設計荷重相当でRCスラブは約0.05mmのヒビワレ幅を発生させる。
- 4) 曲げ試験において鋼板と鉄筋のヒズミは、 $n=15$ 、 $n=7$ を用いても大差ないが、コンクリートの上縁では、 $n=7.5$ の実測値と良く一致する。鋼板のヒズミは、高応力度域(約30ton以上)より実測値が理論値より大きくなる傾向にある。
- 5) 曲げタワミは、RCスラブは理論値と良く一致するが、合成床版では、高応力度域(約30ton以上)附近より4)項と同じ傾向を示す。
- 6) 曲げ試験における合成床版の鋼板とコンクリートのズレは、設計荷重の3倍、19tonでズレ始める。この荷重はジベル許容耐力とはほぼ同等である。破壊荷重に対しては、許容耐力の3.3の安全率を得た。
- 7) 押抜きセン断耐力について、合成床版はRCスラブの1.4倍となった。この理由は2)によるものと同様である。道路橋示方書による押抜きセン断に対する検算は、合成床版で5.7、RCスラブで4.9の安全率を得た。

参 考 文 献

- 1) 成瀬輝男、初沢寿夫；建設省補助金による「プレハブ床版と鋼桁とを合成した急速施工橋梁の研究」石川島播磨重工業(株) 1970年
- 2) 道路橋示方書・同解説；日本道路協会 1978年1月
- 3) 横通英雄、藤田嘉夫；鉄筋コンクリート工学 共立出版
- 4) コンクリート構造設計指針(第2次素案) 土木学会コンクリート委員会終局強度設計小委員会 1977年9月
- 5) 角田与史雄、井藤昭夫、藤田嘉夫；鉄筋コンクリートスラブの押抜きセン断耐力に関する実験的研究 土木学会論文報告集 第229号 1974年9月