

鋼・コンクリート合成鋼床版の静的載荷試験

Static Test for Composite Slab Combined with Steel Deck

渡 辺 滉 *
Hiroshi WATANABE
岩 村 二三男 **
Fumio IWAMURA
片 岡 章 悟 **
Shogo KATAOKA
大 村 外志男 ***
Toshio OMURA

〔要旨〕 本報告書は合成鋼床版の静的載荷試験の結果について述べるものである。

合成鋼床版とは、従来のRC床版と鋼床版の折衷的な形式である。尚、本形式は桁作用においても合成が期待できるもので、これを称して合成鋼床版合成桁と言う。

この合成鋼床版は種々の特長を有するものである。今回、この形式の基本的な構造特性の解明と実設計に際しての評価方法について検討を行うことを目的に、「型枠作用」あるいは「静的荷重のもとでの床版作用」におけるリブの効果に着目して試験を行ったものである。

1. まえがき

従来、鋼橋の床版構造は、RC床版または鋼床版型式である。RC床版は鋼桁と合成したいわゆる合成桁などがあり経済的な形式として多くの実績を有する。一方鋼床版は、既設道路との取合い、桁下空間の確保など桁高制限を要するところに鋼床版プレートガーターなどとして使用されている。しかし、この鋼床版形式は、鋼重が増すこと、製作工数が多いことからRC床版に比べてコスト高になる。また、RC床版にしても、近年の交通荷重の激増によると思われるひびわれ損傷、破損が大きな問題となっている。

ここで述べる「合成鋼床版合成桁」は、上記のRC床版合成桁と鋼床版プレートガーターの折衷的な形式である（図-1）。

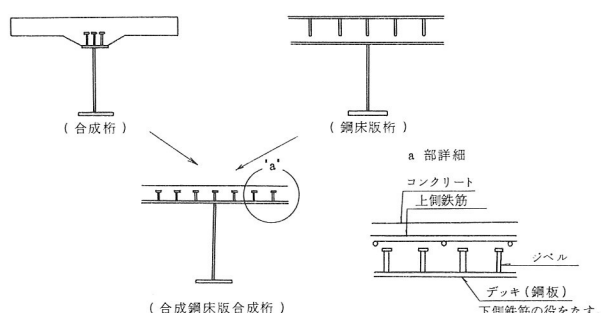


図-1 合成鋼床版合成桁

すなわち、構造的には鋼床版のデッキプレート厚、および横リブ、縦リブを極端に少なくし、デッキプレート上にはずれ止め（スタッドジベル）を配置して、RC床版を場所打ち施工するものである。力学的には、床版作

用はデッキプレートとコンクリートの合成した版「合成鋼床版」として、また主桁作用はいわゆる合成桁「合成鋼床版合成桁」として外力に抵抗させようとするものである。

この合成鋼床版合成桁は次の様な特長を有すると考えられる。

- a) 従来の鋼床版に比し、少ない鋼重で版剛性が増大する。
- b) 鋼床版が型枠鉄筋の役をなすので、現場施工性がよく工期の短縮が図れる。また、従来のRC床版に比べて床版厚の低減が図れる。
- c) コンクリートの桁下へのはく離、脱落の危険がないので維持管理の向上などが期待できる。

など従来の合成桁及び鋼床版プレートガーターの各々の特長を活かした新しい構造形式である。尚、コンクリートの現場施工を前提とする本形式に類似のものとして鋼製型枠合成床版、鋼繊維混入コンクリート合成鋼床版およびコンクリート合成鋼床版プレートガーター橋などが開発されている。しかし、いずれも鋼床版は従来の鋼床版と同程度の断面としているのに対し、本形式では、鋼重および製作工数を減らすため、コンクリート打設時にはデッキプレートの膜応力をも期待して、デッキ厚、リブ量とも必要最小限とし、合成後の輪荷重に対してはリブの剛性を期待しないとする点でその思想は大きく異なる。

本形式の基本的な考えは次の通りである。

- a) デッキプレートはRC床版の型枠および鉄筋としての役割をなすものとする。

b) 横リブ、縦リブは、デッキプレートの型枠作用に対してのみ補剛するものとし、その断面および本数をできるだけ減少させる。

c) 床版作用に対しては、デッキプレートとコンクリートとの合成床版として抵抗させる。

d) 主桁作用は、RC床版と幅広フランジを有するプレートガーターとの合成桁とする。

e) スタッドジベルは、床版作用、桁作用の両方を満足するように配置する。

これらの条件を満たすように設計を行うには、次の様な問題点を解決しておく必要がある。

a) デッキプレートの型枠としての応力度の算出方法（板曲げ応力度、膜応力度）およびそれを補剛する横リブと縦リブの断面の算定方法。

b) 比較的少量のリブの付いた本形式合成床版に対する等方性版としての設計曲げモーメント式の適用の可否。

c) 床版作用に対するスタッドジベルの配置方法。

d) 主桁作用に対するスタッドジベルの配置方法。

e) 繰り返し輪荷重を受けるスタッドジベル付デッキプレートの疲労強度。

f) 合成鋼床版あるいは合成桁としての破壊モードと終局耐力。

よって、今回の試験は、これらのうち主として「型枠作用」あるいは「静的荷重のもとの床版作用」におけるリブの効果に着目して、ほぼ実物大の模型供試体4体について、床版コンクリート打設試験と床版作用の静的載荷試験を行ったもので、合成鋼床版の基本的な構造特性の解明と、実設計に際しての型枠作用および床版作用に対する評価方法についても若干の検討を試みたものである。¹⁾

2. 試験目的と供試体

2-1 試験目的

合成鋼床版の設計は、基本的には道路橋示方書におけるRC床版、鋼床版および合成桁等の諸規定を準用することにより可能であると考えられるが、より一層合理的に行うには本形式の力学的特性を十分に把握しておく必要がある。

そこで

1) 鋼床版の型枠作用

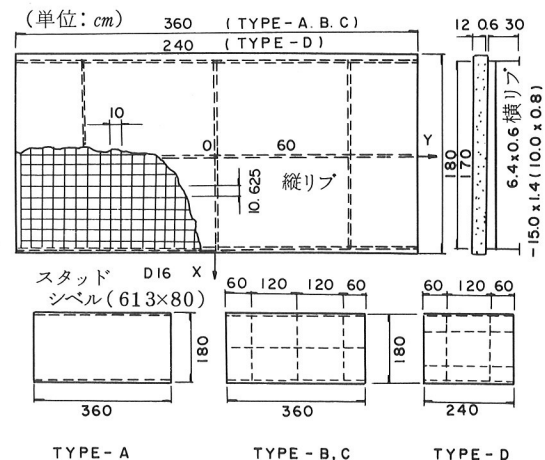
2) 合成鋼床版の弾塑性挙動と耐力

に対するリブの効果を調べることを主目的として、リブ

配置の異なる4体の模型供試体についてコンクリート打設試験および静的載荷試験を行うことにした。

2-2 供試体

供試体は、リブ無し、リブ剛性を変えたもの(2種類)およびリブ配置を変えたものを各1体ずつ計4体について試験を行い、各々Type-A, Type-B, Type-CおよびType-Dと名付けた。各供試体の諸元は図-2に示す。



供試体	リブ	断面 (mm)	リブ間隔 (m)	リブ断面の決定条件
A	なし	—	—	—
B	横リブ	64×6	0.6+1.2+1.2+0.6	合成前+合成後荷重に対して $\sigma_{ta} = 2400 \text{ kg/cm}^2$
	縦リブ	64×6	0.85+0.85	横リブ断面と同じ
C	横リブ	100×8	0.6+1.2+1.2+0.6	合成前+合成後荷重に対して 許容応力度
	縦リブ	64×8	0.85+0.85	$\sigma_{ta} = 1400 \times 1.25 = 1750 \text{ kg/cm}^2$
D	横リブ	100×8	0.6+0.6+1.2+0.6+0.6	供試体Cと同じ
	縦リブ	64×8	0.425+0.85+0.425	

図-2 供試体諸元

ここで、次の部材諸元は各供試体とも同一とした。

1) デッキプレート厚はスタッドの溶接などを考えて必要最小厚の6mmとした。

2) RC床版厚は12cmとした。連続版の支点における上側鉄筋(D16 c. t. c 100)の鉄筋応力が許容応力度以下となるように決定した床版厚である。道示における床版厚は16cm以上とされているが本形式では床版厚が

減少できることを確認するためにも上記寸法とした。

3) 鉄筋はSD30, D16をX方向, Y方向とも上側のみにc. t. c 100にて配置した。

4) ずれ止めは13φ×80のスタッドを使用し, X方向106.25mm, Y方向100mmの間隔で配置した。いわゆるロビンソン型といわれる本形式のスタッド間隔は園田²⁾, 堀川, 広瀬らの試算結果によっても非常に密に配置しなければならない。

5) コンクリートは $\sigma_{ck}=350\text{ kg/cm}^2$ 強度のものを打設した。

6) 使用鋼材は全てSS41とした。

写真-1は配筋前の供試体を示す。

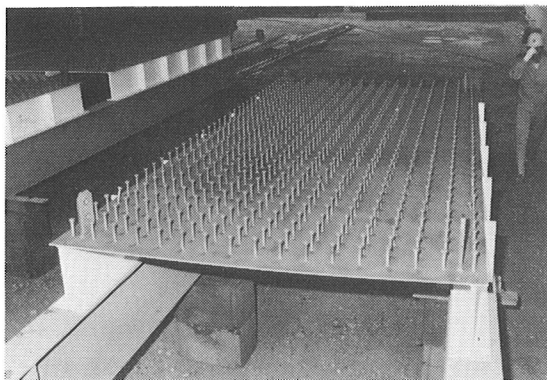


写真-1 配筋前のデッキプレート

2-3 材料試験

コンクリートの配合および材料試験結果は表-1, デッキおよびリブの鋼材の材料試験結果は表-2に示す。

表-1 コンクリート配合表及び材料試験結果

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細 骨 材 率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					
									混 和 材 料	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材	混和剤 AE 減水剤
20	10.2	3.9	46.0	42.3	174	379	719	998	—	0.948

特 性 値	試験片番号	材 令 28 日	材 令 48 日	材 令 63 日
圧縮強度 σ_c (kg/cm²)	1	315.8	369.9	350.1
	2	327.2	362.3	356.5
	3	331.0	348.3	365.4
	平 均	324.7	360.2	357.4
引張強度 σ_{ct} (kg/cm²)	4	25.7	24.9	26.4
	5	25.3	29.6	28.1
	平 均	25.5	27.3	27.3
	割線 弾性係数 E_c ($\times 10^5$ kg/cm²)	1	2.34	2.34
2		2.27	2.36	2.33
3		2.38	2.14	2.18
平 均		2.33	2.28	2.18

表-2 鋼材の材料試験結果

系 列	試験片 番 号	上 降 伏 点 σ_{yu} (kg/cm ²)	下 降 伏 点 σ_{yL} (kg/cm ²)	引 張 強 さ σ_t (kg/cm ²)	伸 び (%)	ヤング率 E_s ($\times 10^6$ kg/cm ²)
ロー ル 方 向	1	3967	3880	4731	21.0	2.04
	2	4018	3939	4775	19.6	2.06
	3	4000	3983	4723	20.8	2.05
	平 均	3995	3934	4743	20.5	2.05
ロー ル 直 角 方 向	1	4083	3946	4713	20.1	2.06
	2	4094	3972	4770	18.4	2.03
	3	3982	3977	4787	24.3	2.08
	平 均	4053	3965	4757	20.9	2.06

3. 床版コンクリート打設試験

3-1 試験の方法

コンクリート打設時の鋼床版各部のたわみおよびひずみを測定した。Type-B, C, Dは, コンクリート打設に伴う主桁の橋軸回りの回転を拘束しないように片側の主桁の下に丸鋼を置き, ローラー支持となるようにして打設を行った。

Type-Aはリブ無し断面であるので, デッキプレートのみではコンクリート重に耐えることができないと判断し, デッキプレート下面全体に支保工を用いた。

3-2 試験結果と考察

3-2-1 変形性状

図-3, 4, 5に横断面(X方向)のたわみ分布結果を示し, 表-3には横リブ剛性とたわみの関係を示す。

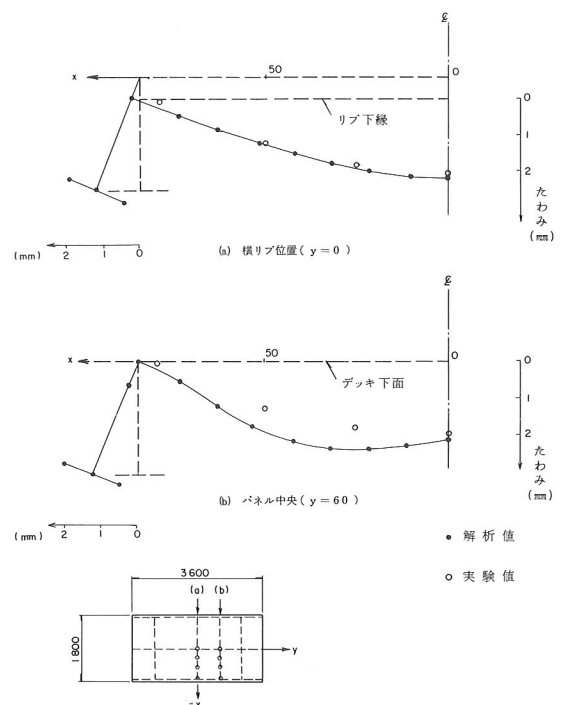


図-3 横断面の変形図 (Type-B)

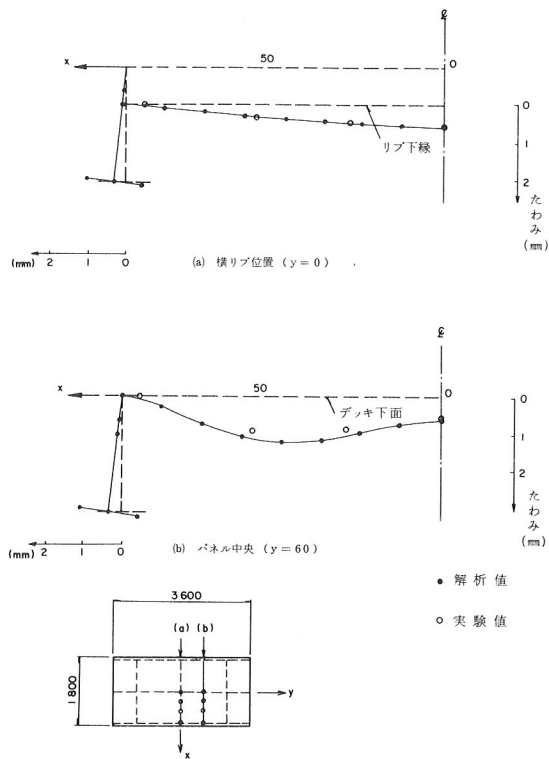


図-4 横断面の変形図 (Type-C)

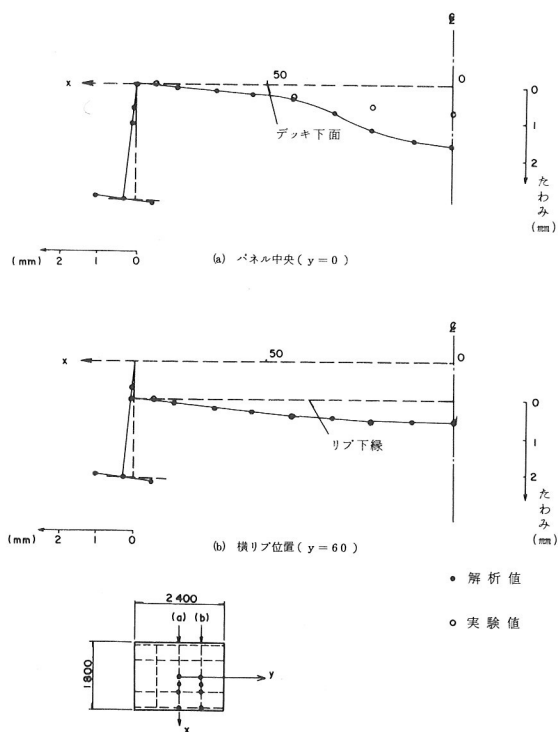


図-5 横断面の変形図 (Type-D)

表-3 横リブ剛性の相違によるたわみの変化

供試体	横リブ断面の断面二次モーメント (cm^4)	縦リブのみの断面二次モーメント (cm^4)	中央のたわみ実験値 (mm)	中央のたわみ解析値 (mm)
Type-A	1.2	—	—	62.80
Type-B	56.1	13.1	2.08	2.11
Type-C	254.7	66.7	0.50	0.55

ここに示す解析値とは、有限要素解析によるものである。これらについて次の事が言える。

- 1) 各供試体とも横リブ位置においては実験値と解析値は一致している。
- 2) Type-B, Cの横リブ剛性の違いによるたわみの比較において、横リブ剛性とたわみはほぼ反比例している。これから推定するとリブ無しの Type-Aのたわみは約6.0 cmとなり、型枠作用に対して横リブが必要であると言える。又、必要な横リブ断面は TYPE-B 相当があれば十分である。
- 3) 横リブおよび縦リブまたは主桁で囲まれたデッキプレートの一つのパネルとして考えた場合、パネル中央のたわみは、Type-Bおよび Type-Dは床版支間内での全体的な変形となり、ほぼ横リブたわみと一致する。一方周辺の支持剛性の高い Type-Cは、パネル中央でのたわみが大きくなっており、支持剛性によって変化するが、デッキプレートのパネル挙動は近似的にリブによって周辺を固定された4辺固定版として取り扱えるようである。

3-2-2 ひずみ性状

図-6, 7, 8に各供試体のひずみ分布を示す。括弧内は解析値である。これらより次の事が言える。

- 1) 各供試体とも横リブ下縁のひずみが他に比べて卓越している。これは、横リブの曲げ剛性が版剛性に比べて高いので、コンクリート重量の大部分を横リブで負担しているためと考えられる。
- 2) Type-Bと Type-Cの横リブ自体の断面係数の比率1:3.3に対してひずみは2~2.5:1とリブ剛性の違い以上に若干差があるがほぼ反比例している。
- 3) 縦リブの長さ方向のひずみ分布は、横リブ近傍では負のモーメントが作用し、横リブ間の中央部では正のモーメントが作用しているようであり、縦リブは、横リブにて支持された連続桁として挙動していることがわかる。尚、発生しているひずみは全て小さく、本供試体の横リブ間隔の場合、縦リブは型枠作用に対してあまり寄与

れが生じた。このひびわれは、各供試体ともほぼ50 t前後で載荷点を中心に半径70~140cmの円形状に発生し、荷重の増加とともにひびわれ長が延び、同心円状に内側外側に新しいひびわれが生じた。

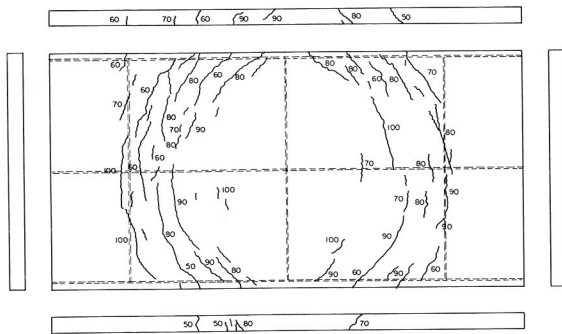


図-10 ひびわれ分布 (Type-B)

この上面のひびわれは定量的に評価できないが設計荷重(13.5 t)をはるか越える50 t以上になってから現われたものであり、設計荷重付近の床版の弾的な挙動にはほとんど影響しないものと考えられる。

4-2-2 変形状

図-11~14に各供試体の床版中央のP- δ 線を示す。

これらより次の事が言える。

1) 各供試体とも30 t前後までは、残留たわみもなく、ほぼ弾的に挙動し、ひびわれを考慮しない解析値とよく一致している。

RC床版などでは載荷初期においても残留たわみの現象がみられるのに対して、この場合、引張鉄筋に相当するデッキプレートが最外縁にあり、鉄筋比も5%と極めて大きいためにひびわれによる断面剛性の低下が小さかったことによると思われる。

2) 30 tを越えると、残留たわみが増加し、徐々に傾きが減少していく。

これは、荷重の増加にともない、コンクリートのひびわれ領域も次第に広がり、付着力の消失、局部的なズレの発生などに加え、コンクリートの δ - ϵ 関係の非線形性、あるいはリブの降伏なども原因と考えられる。

3) Type-BとCのリブ剛性の相違による差はほとんどみられない。但し、Type-Aのリブ無しは若干の差がある。また、Type-Dは50 tまでは Type

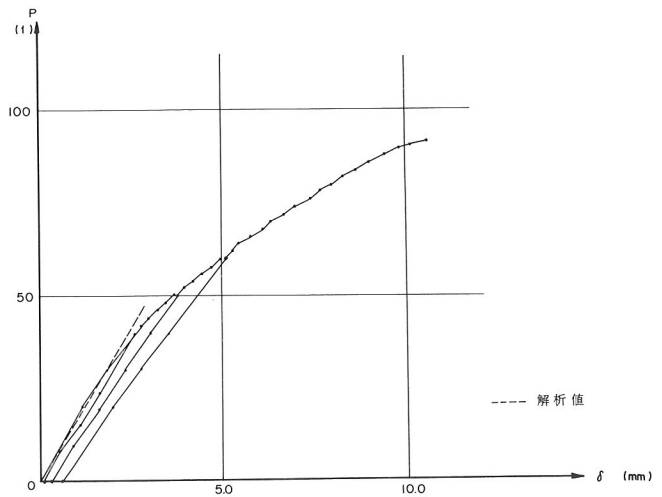


図-11 床版中央のP- δ 累積曲線 (Type-A)

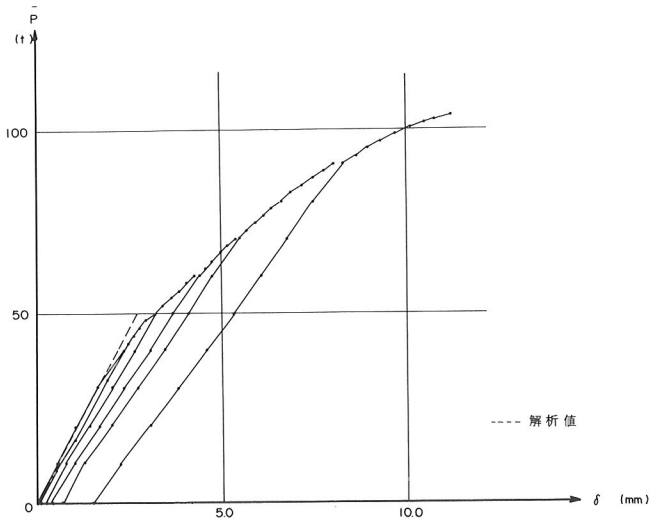


図-12 床版中央のP- δ 累積曲線 (Type-B)

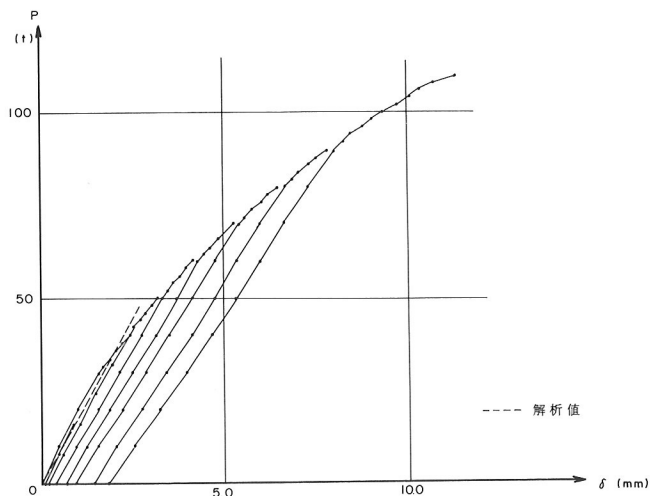


図-13 床版中央のP- δ 累積曲線 (Type-C)

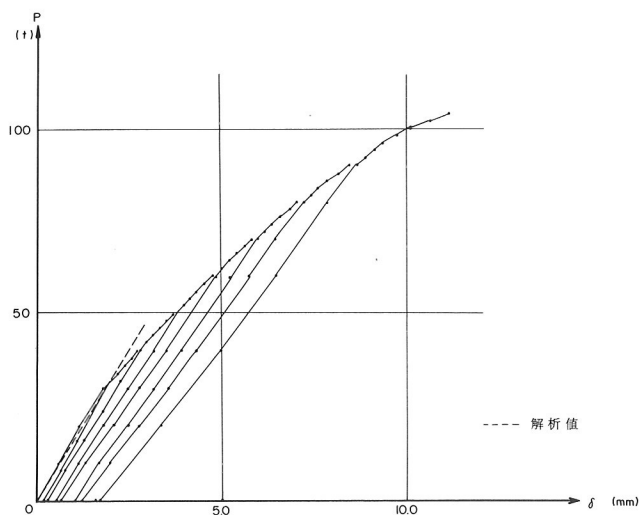
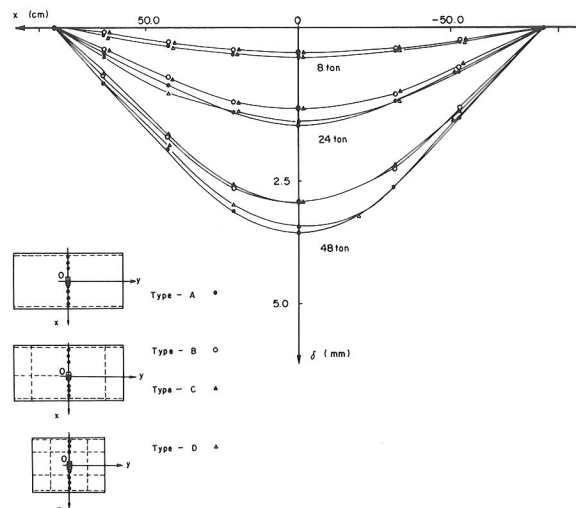
図-14 床版中央のP- δ 累積曲線 (Type-D)

図-15 載荷断面におけるたわみ分布

—Aと同様で、50 tを越えるとType-B, Cに一致する。図-15に横断面のたわみ分布、図-16に縦断面のたわみ分布を示したが、Type-B, CおよびDともリブ無しのType-Aにほぼ相似形であることから、横リブ、縦リブが取り付けられても、この程度の断面の大きさあるいは配置では、全体的にはほぼ等方性版とみなせるようであるし、設計荷重付近の床版の挙動においてはリブ剛性の相違による差はみられない。

4) 最終的な破壊は、いずれも変形量によって規定されるようで、破壊時のたわみは各供試体ともほぼ11 mm前後であった。

4-2-3 ひずみ性状

図-17はType-Bの床版全体のひずみ分布を示したもので、全体的な傾向を把握できる。

また、図-18, 19は代表的なP- ϵ の関係を示したものである。これらより、

- 1) 再載荷曲線はいずれもほぼ直線であり、弾性的に挙動し、解析値とほぼ一致している。
- 2) 終局時においてはデッキプレートは降伏値以下であるが、横リブ、節リブでは局部的な降伏現象がみられる。
- 3) デッキ上面はほぼ直線的にひずみが増加するが、リブ下面には不可解な現象がみられる。

つまり、図-19において、約20 tまでは残留ひずみが生じることなく載荷・除荷を繰り返すが、30 tを

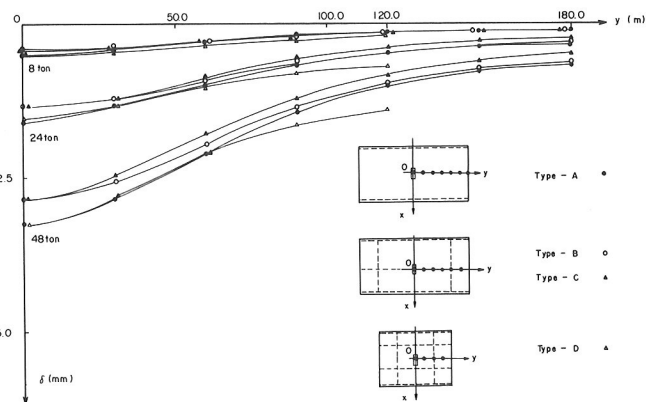


図-16 中央縦断面におけるたわみ分布

越えるとマイナスの残留ひずみが生じるようになり、荷重の増加に対して処女ひずみはほとんど増えずにマイナスの残留ひずみが順次増加していく。また、この時の傾きは残留ひずみを生じる前の20 t以下の傾きとほぼ同じとなる。

この処女ひずみの増えない現象を停留現象、マイナスひずみの生じる現象を回復現象と呼ぶことにする。

この二つの現象、乾燥収縮の影響に加えて、デッキプレート面内の膜応力、あるいはリブの降伏などが関係しているものと考えられるが、定性的には説明できなかった。

図-20に代表的な断面のひずみ分布を示す。

4) 断面のひずみ分布はびびわれを考慮しない解析値と

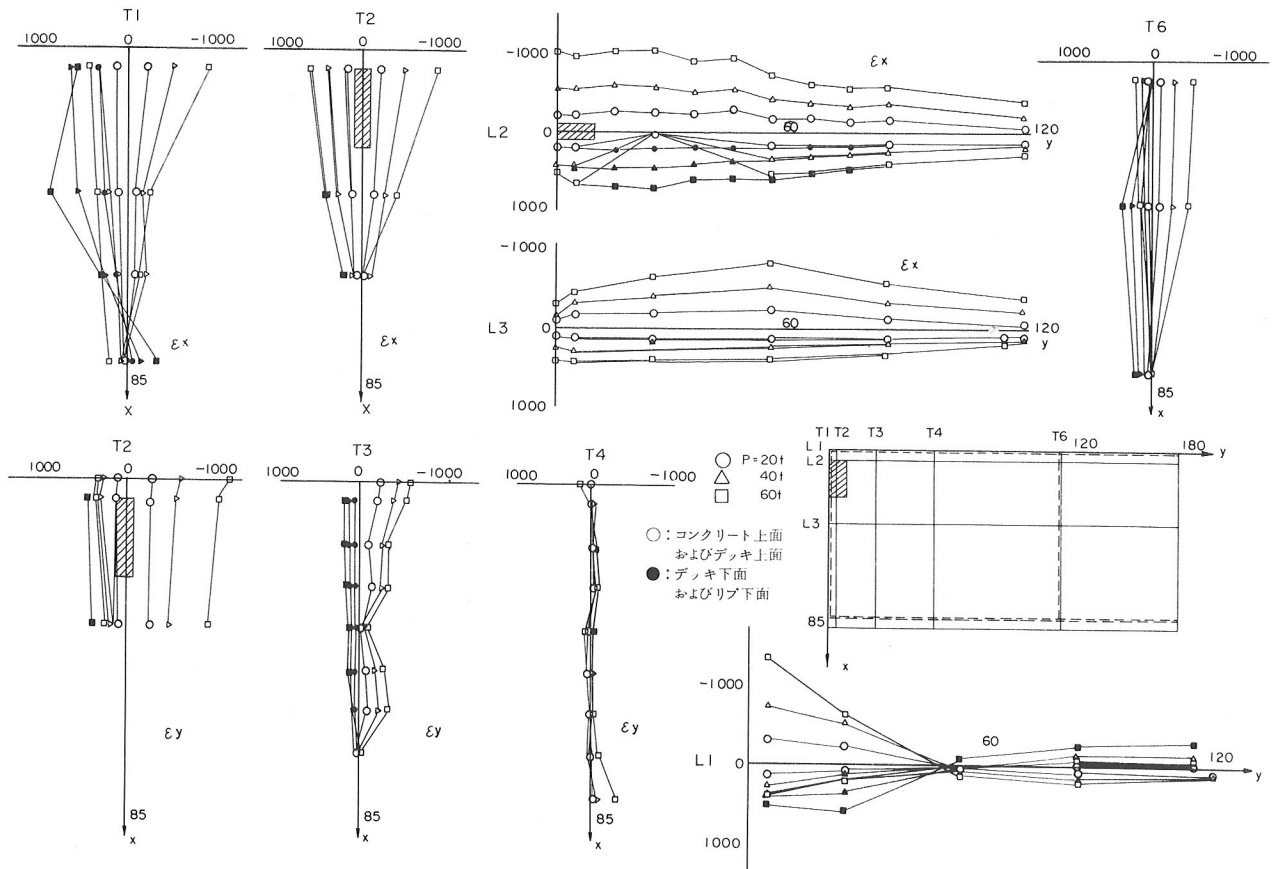
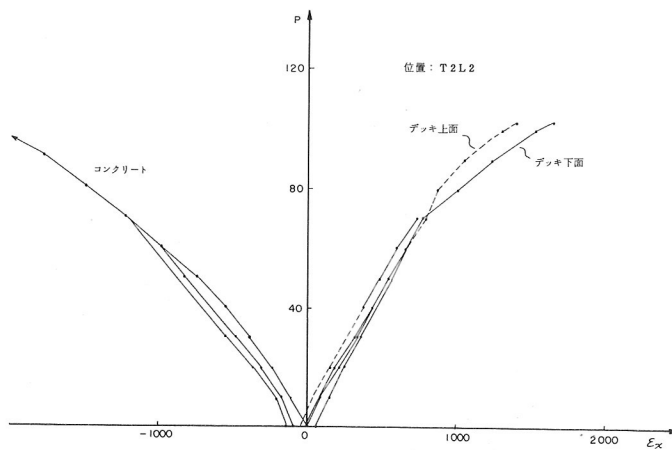
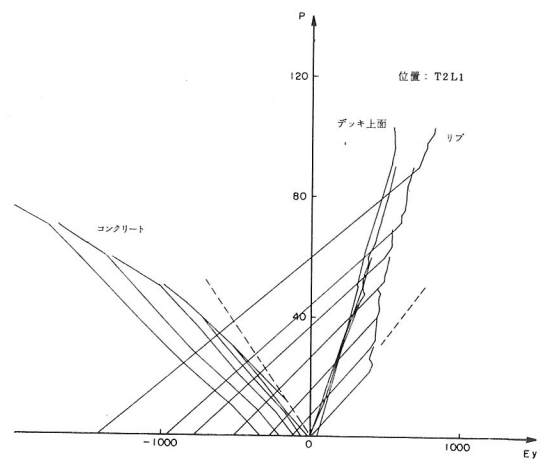


図-17 全体のひずみ分布 (Type-B)

図-18 $P-\epsilon_x$ 曲線 (Type-B)図-19 $P-\epsilon_y$ 曲線 (Type-B)

もほぼ一致、合成断面としてのひずみ分布を示しており、引張側ひびわれの版剛性に及ぼす影響は少ないようである。

4-2-4 ずれ性状

図-21 に荷重ずれ曲線を示す。

いずれの供試体とも主として載荷線上 ($X=0$) の S_1 と横リブ端の S_4 または S_3 においてずれが生じ、荷重と

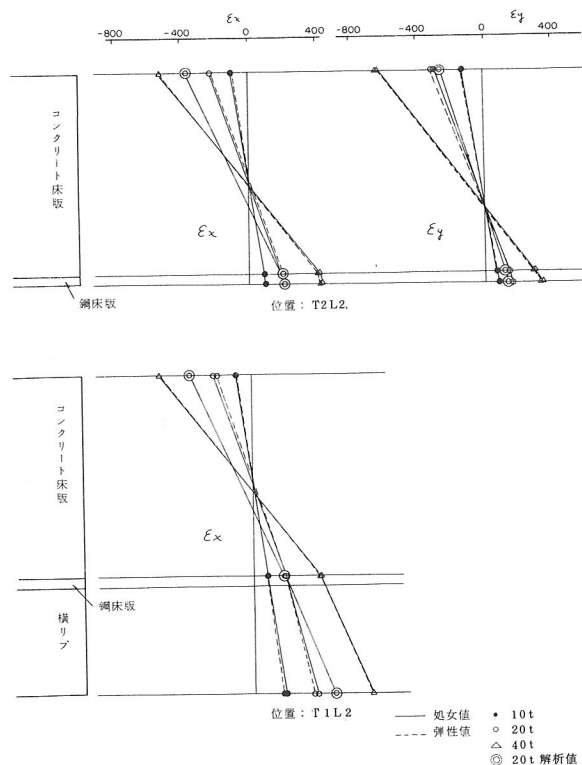


図-20 断面のひずみ分布 (Type-B)

ともに増加しているが、弾性範囲内 ($P < 30 \text{ t}$) では 0.03 mm 以下となっており、スタッドが密に配置されたこと、デッキプレートとコンクリートの付着力によりほぼ完全合成として挙動しているものと思われる。

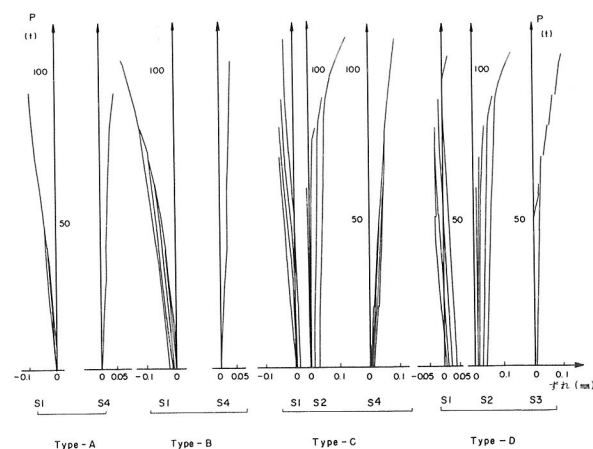


図-21 荷重-ずれ曲線

5. 合成鋼床版の設計法の考え方

今回の実験において、実験値と解析値 (有限要素解) とは良く一致し、合成鋼床版の静的載荷時の弾性挙動は、平板要素およびリンク要素を用いた有限要素法により再現できるものと思われる。ここでは、種々のモデルを設定し、有限要素解と比較しながら実設計に際しての簡易計算法を見出すことにした。また、終局耐荷力の評価方法などについて検討を行った。

5-1 簡易計算法

表-4に本形式の型枠作用および合成後活荷重による床版作用の簡易計算法について示す。

5-2 終局耐荷力

本実験で観察された破壊モードは明らかに押し抜きせん断破壊であり、各供試体とも設計荷重 (13.5 t) の $7 \sim 8$ 倍であった。コンクリート陥没部を写真-2に示す。

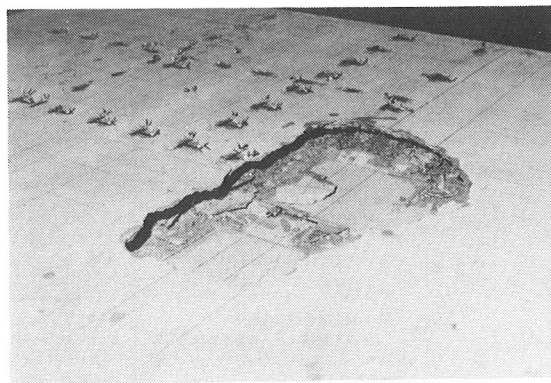


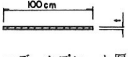
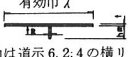
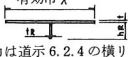
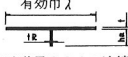
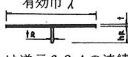
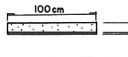
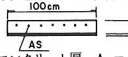
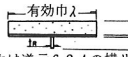
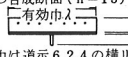
写真-2 コンクリート陥没部 (Type-D)

RC床版の終局耐荷力の評価方法には種々の実験公式が提案されているが、破壊モードが押し抜きせん断破壊であったことより、角田らによる算定式、および松井・前田による算定式にその適用を試み、さらに今回の実験結果をもとに本供試体についての耐荷力算定式を考えた。

5-2-1 角田式、松井式の適用

角田式によれば、Type-Aについては耐荷力は 63.1 t と算出される。この値は実験値 9.2 t を大きく下回るものである。これは、角田式ではせん断破壊面を有効高の全厚と仮定しているが、本供試体では床版上面からほ

表 4 合成鋼床版の簡易設計法

		応 力 度 算 出 方 法		た わ み 算 出 方 法
		作 用 モーメント	抵 抗 断 面	
型 枠 作 用	① 支間中央	○横リブ、縦リブで囲まれた4辺固定版より求めた曲げモーメントに1.2を乗じたもの。 $M_x = 1.2 \beta \cdot q \cdot a^2$, $M_y = 1.2 \beta' \cdot q \cdot a^2$ M_x : 橋軸直角方向曲げ, M_y : 橋軸方向曲げ q : 等分布荷重, a : x方向の辺長	○単位巾のデッキプレート  t = デッキプレート厚	○横リブ、縦リブで囲まれた4辺固定版より求めたたわみに1.2を乗じたもの $\delta = \alpha \cdot \frac{q \cdot a^2}{D} \times 1.2$ $D = \frac{E \cdot h R^3}{12(1-\nu^2)}$ 表 2-2
	② 支 点 部	同 上	同 上	
	③ 支間中央	○横リブ間隔の荷重を主桁にて支持された両端固定版として求める。 $M = \frac{w_d \cdot L^2}{24}$ w_d = 死荷重 L = 主桁間隔	○デッキプレートの有効巾を含むT形断面 有効巾 λ  有効巾は道示 6.2.4 の横リブの項の連続支持の中間支間の場合を適用。 h_R = リブ高 t_R = リブ厚 t = デッキプレート厚	○横リブ間隔の荷重を主桁にて単純支持した場合のたわみに80%を乗じたもの $\delta = \frac{5 \cdot w_d \cdot L^2}{384 \cdot E \cdot I} \times 80\%$ 横リブ間隔  I = 全断面有効としての断面二次モーメント 表 2-1
	④ 支 点 部 (仮定)	○横リブ間隔の荷重を主桁にて支持された連続梁として求める。 $M = \frac{w_d \cdot L^2}{12}$ w_d = 死荷重 L = 主桁間隔	○デッキプレートの有効巾を含むT形断面 有効巾 λ  有効巾は道示 6.2.4 の横リブの項の連続支持の中間支間の場合を適用。 h_R = リブ高 t_R = リブ厚 t = デッキプレート厚	
合 成 復 活 重	⑤ 支間中央	○縦リブの有効巾に荷重を載荷し、連続梁としての支間曲げモーメント $M = \frac{\lambda \cdot w_d \cdot L^2}{24}$ w_d = 死荷重 λ = 有効巾 L = 横リブ間隔	○デッキプレートの有効巾を含むT形断面 有効巾 λ  有効巾は道示 6.2.4 の連続桁の項に従い、縦リブの支持条件により決定。	
	⑥ 支 点 部	○縦リブの有効巾に荷重を載荷し、連続梁としての支間の曲げモーメント $M = -\frac{\lambda \cdot w_d \cdot L^2}{12}$ w_d = 死荷重 λ = 有効巾 (右項参照) L = 横リブ間隔	○デッキプレートの有効巾を含むT形断面。 有効巾 λ  有効巾は道示 6.2.4 の連続桁の項に従い、縦リブの支持条件により決定。	
	⑦ 支間中央	○道示 6.1.4 の単純版支間曲げモーメント $M_x = (0.12L + 0.07) \cdot P$ $M_y = (0.10L + 0.04) \cdot P$ M_x = 橋軸直角方向の曲げ M_y = 橋軸方向の曲げ L = 主桁間隔 P = 自動車1後輪荷重	○単位巾のデッキプレートとコンクリート (引張側無視) の合成断面。  t_c = コンクリート厚 t = デッキプレート	
	⑧ 支 点 部 (仮定)	○道示 6.1.4 の連続版支間曲げモーメント $M_x = -(0.12L + 0.01) \cdot P \times 80\%$ M_x = 橋軸直角方向の曲げ L = 主桁間隔 P = 自動車1後輪荷重	○単位巾の上段鉄筋とコンクリート (引張側無視) とリブのT形合成断面 ($n=15$)  t_c = コンクリート厚 A_s = 上段鉄筋量 t = デッキプレート	
成 活 重	⑨ 支間中央	○道示 6.1.4 の単純版支間曲げモーメントに有効巾を乗じたもの。 $M_x = (0.12L + 0.07) \cdot P \cdot \lambda$ M_x = 橋軸直角方向の曲げモーメント L = 主桁間隔 P = 自動車1後輪荷重 λ = 有効巾	○有効巾のデッキプレートとコンクリート (引張側無視) とリブのT形合成断面 ($n=15$)  有効巾は道示 6.2.4 の横リブの項の単純支持の場合を適用。	
	⑩ 支 点 部 (仮定)	○道示 6.1.4 の連続版支間曲げモーメントに有効巾を乗じたもの。 $M_x = -(0.12L + 0.07) \cdot P \times 80\% \cdot \lambda$ M_x = 橋軸直角方向の曲げモーメント L = 主桁間隔 P = 自動車1後輪荷重 λ = 有効巾	○有効巾のデッキプレートとコンクリート (引張側無視)、コンクリート内の上段鉄筋及びリブの合成断面 ($n=15$)  有効巾は道示 6.2.4 の横リブの項の連続支持の場合を適用。	
	⑪ 支間中央	○道示 6.1.4 の単純版支間曲げモーメントに有効巾を乗じたもの。 $M_y = (0.10L + 0.04) \cdot P \cdot \lambda$ M_y = 橋軸方向の曲げモーメント L = 主桁間隔 P = 自動車1後輪荷重 λ = 有効巾	○有効巾のデッキプレートとコンクリート (引張側無視) とリブのT形合成断面 ($n=15$) 有効巾 λ  有効巾は道示 6.2.4 の縦リブの項を適用。	
	⑫ 支 点 部	同 上	同 上	

ぼスタッド頭部付近までしかせん断破壊していないこと、および、鉄筋比が2%以上のものについては適合度が悪くなると角田自身が指摘していることによると思われる。一方、松井式によれば、Type-Aについては耐力は96tが得られ、実験値92tにかなり近い値であった。

表-5 終局耐力の算定結果

単位: ton

供試体	実験値	松井式	修正式
Type-A	92	96 (1.04)	92 (1.00)
Type-B	103	107 (1.04)	102 (0.99)
Type-C	110	116 (1.05)	111 (1.01)

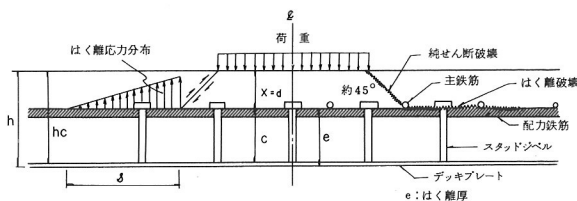
注) ()内の数字は(計算値)/(実験値)の値である。

表-5に他の形式についても示す。松井式はRC床版の破壊モードを床版上側の純せん断破壊と下側鉄筋のダウエル効果による下側かぶりのはく離破壊が同時に発生すると考えているものでは本供試体の破壊モードにも近いものである。

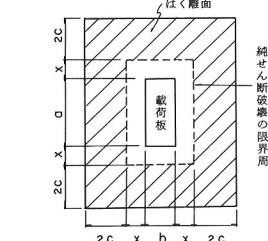
5-2-2 修正耐力算定式

基本的には松井式と同様、純せん断破壊領域とはく離破壊領域の2つの抵抗力の和として耐力を求め得るものとし、破壊モードの一部修正を行い、図-22に示す破壊モード、その時の応力分布モデルを仮定した。

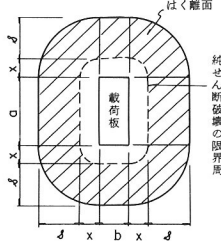
(a) 供試体の破壊モードおよび断面の応力分布



(b) 松井式による破壊時の平面の応力分布



(c) 修正した応力分布



(d) せん断応力およびはく離応力分布

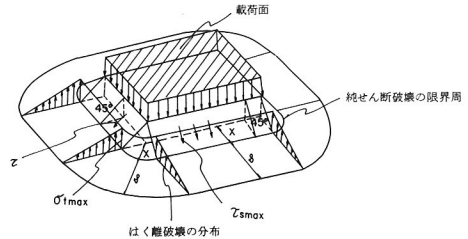


図-22 修正耐力算定式

修正耐力 P_u の算定式は次のとおりとする。

$$P_u = \tau_{s \max} \{ 2(a+b) + \pi x \} x + \sigma_{t \max} \{ (a+b) + \pi(x+\lambda/3) \} \lambda$$

ここで、

λ = はく離長 (cm)

x = せん断破壊領域の深さ (cm)

$$\tau_{s \max} = 0.252 \sigma_{ck} - 0.000246 \sigma_{ck}^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma_{t \max} = 0.583 (\sigma_{ck})^{2/3}$$

ただし、 $\tau_{s \max}$, $\sigma_{t \max}$ は松井式におけるものと同じとし x と λ については次のように考えた。

まず、 x については載荷板周縁から 45° 下方に主鉄筋下面と交わるせん断破壊面を仮定するため、コンクリート上面から主鉄筋下面までの距離に等しくなる。次に λ については、松井式においては $\lambda = 2e$ としているように断面内の基準長さと関連づけておく方がより一般的となるため、実験結果を基に λ を逆算し、最も相関性の強い基準量をみいだすことにした。この試算結果を表-6に示す。表中、はく離厚 e とは主鉄筋下面からデッキ下面までの距離である。ただし、Type-BとCについてはデッキプレートと横リブとの鋼断面のみに対する等価換算デッキ厚の考え方(添字D)に加え、コンクリートと鋼断面との合成断面に対するもの(添字V)についても算出し、計4つのケースについて逆算はく離長 λ との相関性を調べた。表より明らかなように、ケースUDEについての λ/e_D の値2.38~2.42と最も変動が少なく、はく離長 λ との相関性が高いことがわかる。そこで算定式では、

$$\lambda = 2.4 e$$

(e = デッキと横リブの等価換算デッキ厚)

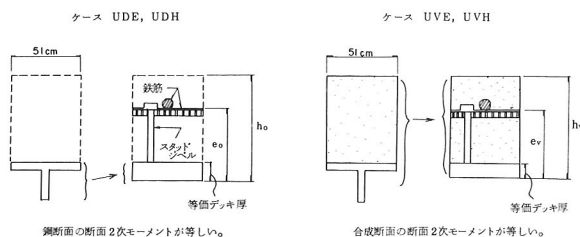
とし、各供試体について耐力を求めたものが前掲の表-5である。当然ながら、実験値との一致度は極めて良好である。

表-6 はく離長

単位: cm

供試体	はく離長 $\bar{s}$	UDE $e_D(\bar{s}/e_D)$	UDH $h_D(\bar{s}/h_D)$	UVE $e_V(\bar{s}/e_V)$	UVH $h_V(\bar{s}/h_V)$
Type-A	18.9	7.80 (2.42)	12.60 (1.50)	7.80 (2.42)	12.60 (1.50)
Type-B	22.2	9.18 (2.42)	13.98 (1.59)	8.02 (2.77)	12.82 (1.73)
Type-C	24.3	10.20 (2.38)	15.00 (1.62)	8.55 (2.84)	13.35 (1.82)

$\bar{s}$: 修正式により破壊荷重から逆算したはく離長
 e : はく離厚
 h : 床版全厚



なお、ここで提案した耐力算定式は、荷点直下にリブがある場合に限定され、例えば Type-D には荷点直下にリブが無い場合、Type-A と同じ値となる。また、算定式は、わずか3体の結果に基づいて誘導したものであるため種々の要因が変化した場合、そのままではまるかどうかは疑問である。

6. 試験結果のまとめ

鋼とコンクリート合成床版のコンクリート打設試験および静的荷重試験から以下のことがわかった。

型枠作用としての鋼床版については次のことである。

(1) 主として横リブの曲げ剛性によりコンクリート重量に抵抗し、デッキプレートと縦リブは主に荷重分配作用に寄与するだけのようである。

また、デッキプレートにおける膜応力の影響は明瞭に見られなかった。

(2) 型枠作用に対して横リブの効果が極めて大きいことがわかった。

(3) コンクリート打設時における鋼床版の挙動は、平板要素を用いた有限要素解析によって十分追跡することができる。

(4) 設計上、デッキプレートはリブによって囲まれた4辺固定版として、また、横リブおよび縦リブはそれぞれ主桁あるいは横リブによって支持された固定梁または連続梁として取扱うことができ、簡易設計法についても考えた。

合成鋼床版については次のことである。

(1) デッキプレートとコンクリートとの合成作用は、弾性域から終局状態に至るまで、ほぼ完全合成であったと考えられる。

(2) 横リブの直上に荷重した場合にはリブの効果は現われたが、パネル中央に荷重した場合には顕著でなかった。いずれの場合も、全体的な変形性状は、リブ無しのものに類似しており、等方性版的な挙動を示した。

(3) デッキプレートおよびリブにおけるひずみの回復現象あるいは停留現象については、定性的かつ定量的に把握するまでには至らなかった。

(4) 合成鋼床版の静的荷重時の弾性挙動は、平板要素あるいはリンク要素を用いた有限要素法により再現できる。また、簡易設計法についても考えてみた。

(5) 最終的な破壊モードは、押し抜きせん断によるものであり、これに対する終局耐力算定式を考えてみた。

7. 合成鋼床版合成桁の使用性

本形式について、今回の試験結果および想定される種々の諸問題より一部改良案を示し、合成鋼床版合成桁の使用性について検討を行う。

7-1 改良案

本形式においては、活荷重の繰返しにより、リブ交差部の溶接部から疲労亀裂の発生が予想される。この影響も含めて合成断面にはリブを期待しないとするものであるが、この亀裂が主部材(デッキプレート)にまで悪影響をおよぼすことも考えられ、次のような改良案が考えられる。

(1) 横リブ、縦リブの交差部は溶接を行わない。

(2) 横リブのみの構造とする。

(3) リブは全て無くし、コンクリート打設時に別の支保工を設ける。

また、スタッド付デッキプレートにおいても疲労性状の点から、スタッドに変わるずれ止めとしてボルト構造も考えられる。

7-2 使用性

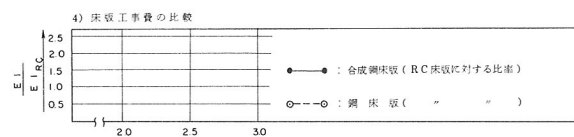
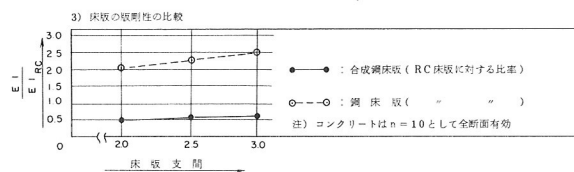
本形式の特長はまえがきに示したとおり種々あると考えられる。ここでは使用に際しての適用範囲、構造特性および経済性等について図-26に他形式との比較を行った。

1) 適用支間

型式	支間長	10	20	30	40	50	60	備	考
合成鋼床版版桁									
合成版桁									
鋼床版版桁									

2) 適用桁高

型式	H/L	1/10	1/15	1/20	1/25	1/30	1/35	備	考
合成鋼床版版桁									
合成版桁									
鋼床版版桁									



※) 床版工事費は次の項目を考慮したものである。

RC 床版	合成鋼床版	鋼床版
コンクリート	コンクリート	デッキの製作費
型枠	鉄筋	デッキの輸送費
鉄筋	養生	デッキの架設費
吊足場	デッキスタッドの製作費	デッキの塗装費
養生	デッキの輸送費	共通仮設費
上フランジスタッドの製作費	デッキの架設費	現場管理費
デッキの輸送費	デッキの塗装費	一般管理費
デッキの架設費	共通仮設費	
上フランジの塗装費	現場管理費	
共通仮設費	一般管理費	
現場管理費		
一般管理費		

図一 23 合成鋼床版合成桁の使用性

8. あとがき

本実験の結果、鋼・コンクリート合成鋼床版合成桁について、主として、床版作用（型枠作用を含む）に関する静力学的構造特性がほぼ明らかとなり、実設計に際しての応力度あるいは耐荷力の評価方法についても一応の目安が得られた。しかし、新たな問題点として、デッキプレートあるいはリブにおけるひずみの回復現象が生じ、床版挙動に対し何らかの影響があったはずであるが、残念ながら、今回の実験では明らかにすることができなかった。これについては、床版ではなく、梁のような簡単な試験体について、もっと基礎的な実験の積み重ねが必要であると考えられる。

このほか、床版作用についての問題点として、

- 最適リブ断面形状、寸法と配置
- 水平せん断力の評価とスタッドの配置方法
- 連続版としての挙動（負モーメントに対する力学的性状と耐荷力）と設計法

(d) コンクリートの乾燥収縮とクリープの影響

(e) スタッド付きデッキプレートの疲労強度

(f) 実走行荷重に対する耐久性

などが残されており、今回の静的載荷試験に引き続き、合成鋼床版の疲労試験を現在行なっているところである。

なお、今回の合成鋼床版静的載荷試験は、大阪大学工学部土木工学科橋梁研究室と当社との共同にて行なったものである。

参考文献

- 前田・梶川・岡本・清水：鋼・コンクリート合成鋼床版の静的載荷試験報告書、大阪大学工学部土木工学科橋梁研究室、昭和59年3月。
- 園田・堀川・広瀬：鋼板、コンクリート合成床版のずれ止めの設計について、土木学会関西支部、年次学術講演会講概集、1982。