

拡幅工事（西長堀出入路）における合成鋼床版桁

大阪第二建設部	設 計 課	安 田	武
計 画 部	特定計画調整室	吉 田	聰
大阪第三建設部	武庫川工事事務所	木 代	穰

要 約

西長堀出入路の大阪港線側に、スタッドジベルを用いた鋼・コンクリート合成鋼床版桁を採用した。本出入路は、街路や地下鉄との寸法上の制約により橋脚位置が既設本線と一致出来ないため、合流部は縦目地構造とし、活荷重によるたわみ差や橋軸方向のずれが大きいため、縦目地部の走行安全性を考慮すると、剛性の大きい橋梁形式が必要であった。また、既設本線の壁高欄撤去後の安全施工、および縦目地部の補強、そして、工期短縮から、鋼床版タイプの橋梁形式が望まれた。

以上の条件を、満足させるため、新形式の合成鋼床版桁を採用し、その安全性・耐久性を確認するために疲労実験を行った。

本報告は、採用された合成鋼床版桁の構造特性と設計手法についてのまとめと、合成鋼床版部の疲労強度の確認のため、供試体を作成して繰り返し載荷実験を行った結果を報告するものであり、十分な疲労強度を有していることが確認された。

キーワード：設計、疲労載荷実験、合成鋼床版桁、縦目地、改築、拡幅、たわみ差

まえがき

近年、市街地における橋梁の新設あるいは架替には、既設橋梁との整合性、施工中の安全性、工期の短縮が要求され、RC床版桁よりも鋼床版桁が採用されることが多い。しかし、鋼床版桁は、一般に、版剛性を高めるための横リブ・縦リブの製作工数や、鋼重が増加し、RC床版桁に比べてコスト高になり、主桁の剛性も低いものとなる。

西長堀出入路¹⁾は大阪市営地下鉄阿波座駅前交差点をはさんで、それぞれ東西方向、南北方向に設置されるランプであり、構造物を建設するには非常に多くの制約があり、施工中の安全性についても設計上考慮する必要がある。

本出入路の大阪港線側ランプは大阪市営地下鉄

「中央線」に沿って、阿波座交差点から中央大通上を大阪港側へ設置され、街路や地下鉄との寸法上の制約により図-1に示す支間割となった。そのため、大阪港本線の $l=30\text{m}$ の単純合成鋼桁と橋脚位置が一致せず、この本線と路面を共有するために縦目地を設置し、既設本線と新設桁とを分離構造とした。この場合、縦目地部の走行安全性を考慮すると、既設桁と新設桁との活荷重たわみを極力少なくする必要がある。

そのため、基本計画ではRC床版桁であったが、主桁剛性を確保するため低材質（SM400）を使用し、最大フランジ厚が50mm必要となっていた。そこで、縦目地部の耐荷力・施工中の安全対策・

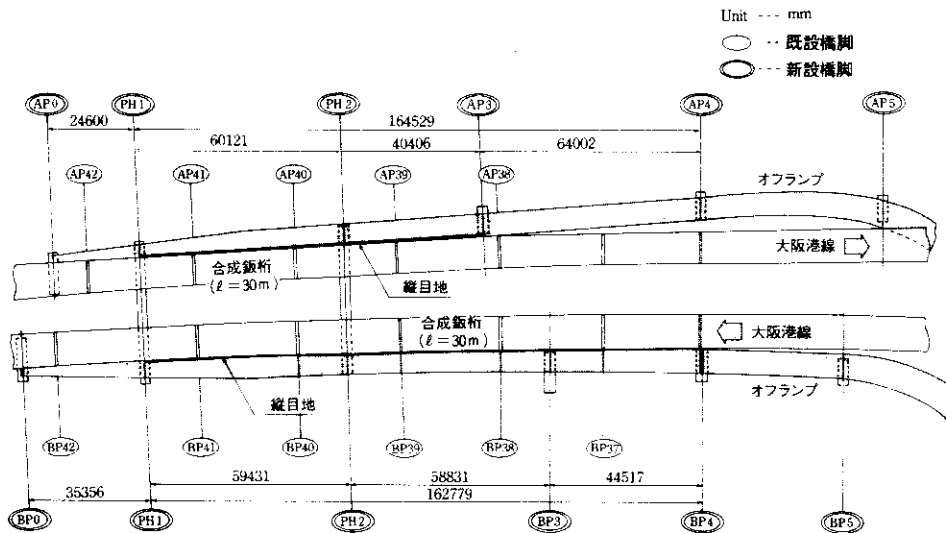


図-1 大阪港線側ランプ平面図

工期短縮という必須条件を考慮し、以下の理由により新形式である「合成鋼床版桁」を採用した。

- (1) R C床版に代わり得る床版の一つとして、研究・開発^{2)・3)}され、すでに2、3の中小橋梁で採用されている。⁴⁾
- (2) 鋼とコンクリートとの合成効果が期待でき、活荷重たわみの低減に寄与する。
- (3) デッキプレートが、縦目地の補強鋼板と施工時の覆工鋼板の機能を兼用するメリットがある。
- (4) 現場作業（型枠・足場・配筋）の省力化を図れる。

そこで、本報告では、合成鋼床版桁を実橋に適用するにあたって行った実験と設計手法について報告する。

1 合成鋼床版の構造と特徴

1-1 合成鋼床版の構造

合成鋼床版は、R C床版と鋼床版の折衷的な形式であり、鋼床版のデッキプレート厚、および縦リブ、縦リブを少なくし、デッキプレート上にずれ止め（スタッドジベル）を配置して、鋼板とコンクリートとを合成させた床版である。（図-2）

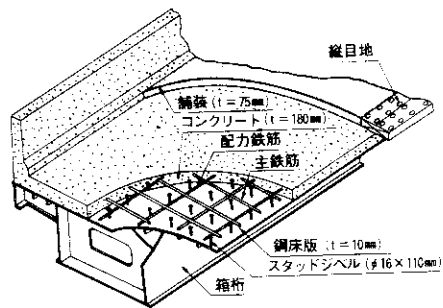


図-2 合成鋼床版桁の概要図

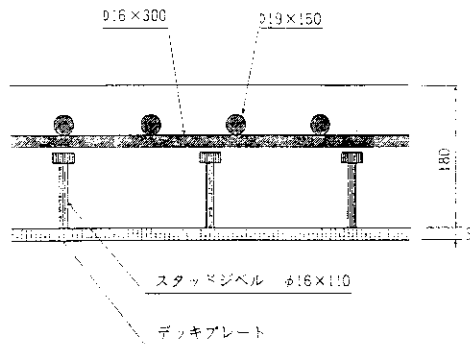


図-3 床版の断面図

この合成鋼床版の配筋は上鉄筋のみで、鋼板が下鉄筋の主鉄筋と配力筋の役目を果たす。（図-3）

1-2 合成鋼床版の特徴

この合成鋼床版は以下のような特徴がある。

① R C床版との比較

- ① 桁高を低くできる。
- ② 従来の R C床版に比べて床版厚が薄くでき、死荷重の低減が図れる。

② 鋼床版との比較

- ① 従来の鋼床版に比べて、少ない鋼重で版剛性が増大する。
- ② 製作工数が低減できる。

③ 施工及び維持管理

- ① 鋼床版が下鉄筋及び型枠の役目を果たすので、現場施工性がよく工期の短縮が図れる。
- ② コンクリートの桁下への剥離、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。
- ③ 構造及び維持管理上の弱点部である縦目地部の構造が補強され、安全かつ信頼できる補修ができる。
- ④ デッキプレートに覆工板機能があり、既設本線高欄撤去後の本線及び街路交通の安全対策が図られ、安全な施工ができる。

2-2 実験概要

合成鋼床版の実験・研究は従来から行われているが、本工事に適用するにあたり、疲労強度を向上させるため、既往の実施例³⁾から床版厚、スタッドジベル型・ピッチ、デッキプレート厚を変更した。そこで、本実験では、既往の研究との比較もふまえ3体の供試体を製作し、輪荷重走行試験機による疲労実験を行った。

供試体の概要を図-4、図-5及び表-1に示す。

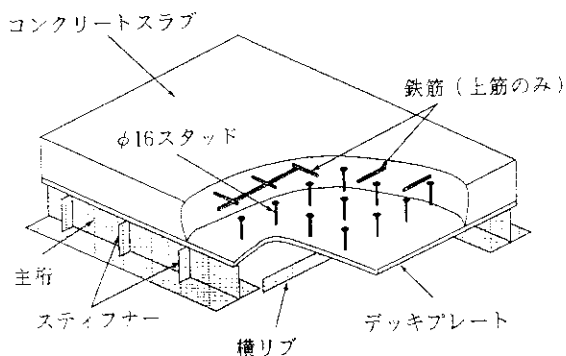


図-4 供試体の概要図

2 合成鋼床版の疲労実験

2-1 実験の目的

合成鋼床版における疲労破壊現象は鋼板とコンクリートを結合するスタッドの疲労破壊である。^{2)・3)}自動車の走行によってスタッドに回転せん断力が作用するため、スタッドが溶接部においてシヤーオフされる。このシヤーオフの破壊現象は輪荷重走行試験機で初めて確認されたものである。したがって、道路橋床版として使用する際には、この破壊に着目した疲労設計が必要である。

そこで、実橋に採用するにあたり、その安全性・耐久性を確認するため、輪荷重走行試験機による疲労実験を行った。

表-1 各試験体の仕様

供試体番号	2T-2	2T-3	2T-4	2S
床版厚	15cm	15cm	15cm	18cm
デッキプレート厚	9mm	10mm	10mm	10mm
スタッド径	13φ	16φ	16φ	16φ
スタッド間隔	200mm	250mm	250mm	250mm
側壁鋼板	無	無	有	無
横リブ	上面	下面	下面	下面
備考	文献 ³⁾			

供試体 2 T - 3 は既往の研究³⁾ 2 T - 2 との比較用で、床版厚を15cmとした。供試体 2 T - 4 は 2 T - 3 に側壁鋼板を取りつけたものである。供試体 2 S は床版厚を実橋と同じ18cmとしたものである。また、2 T - 2 では横リブを上側溶接としていたが、今回は、実橋と同じく下側溶接とした。

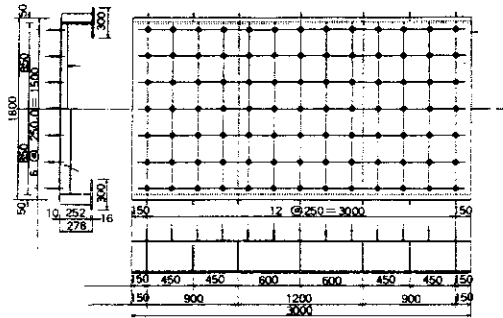
スタッドジベルの疲労強度はその径とはもちろん関係するが、デッキプレートが薄い場合にはデッキプレートが疲労破壊する。このことは解析的に明らかになっており、スタッドジベルの破壊とデッキプレートの破壊が同時におこるのが理想的である。図-6⁵⁾にスタッドジベル径が13φの時のデッ

キプレート厚と破壊の関係を示す。この場合の鋼板は7mm程度となるが、今回のデッキプレート厚10mmに対してはより太径が必要であり、16φのスタッドジベルを選定した。また、スタッドジベルピッチは、既往の研究²⁾で13φのスタッドジベルを用いた場合には200mmで安全であることが判明しており、このスタッドジベルと、同等のせん断力が16φのスタッドジベルに発生するピッチを計算し、250mmとした。

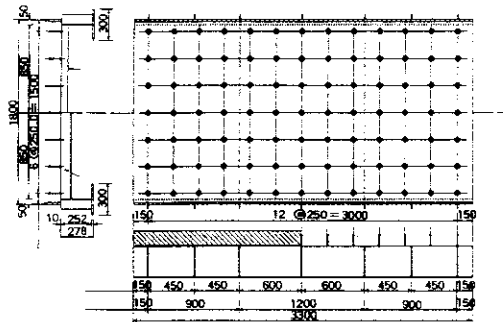
載荷荷重と荷重繰り返し回数は、既往の研究、およびRC床版の疲労寿命推定法により、

載荷荷重 15ton
荷重繰り返し回数 200万回

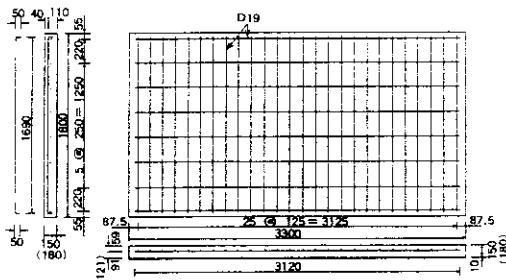
とし、これに耐えれば十分な耐久性を確保していると考えられる。



(a) 供試体の形状寸法(2T-3、2S)



(b) 供試体の形状寸法(2T-4)



(c) 床版の配筋図

図-5 各供試体の仕様

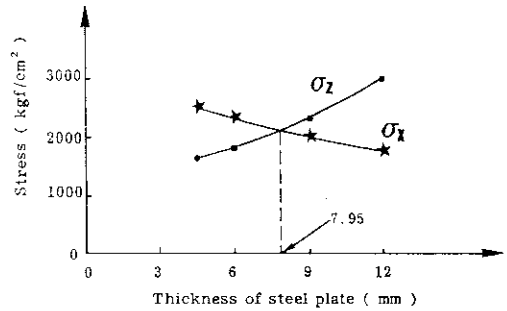


図-6 13φスタッド使用時の鋼板と破壊現象の関係

2-3 載荷装置

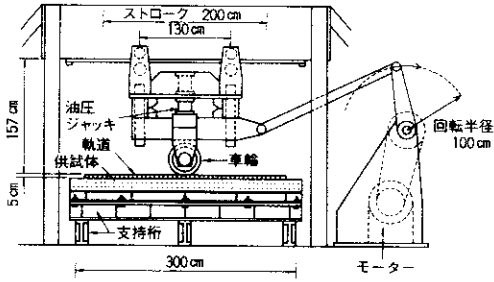
疲労試験は、大阪大学工学部保有の床版用に開発された輪荷重走行試験機を用いて行った。装置の概要を図-7に、能力を表-2に示す。

2-4 実験結果と考察

2-4-1 外観での疲労劣化

各供試体のひびわれ状態を図-8に示す。ひびわれ数は2S < 2T-4 < 2T-3 < 2T-2の順で減少している。2T-2との比較から、横リブを上面に取付けるメリットは無いと考えられる。

2T-4のひびわれの発生率、進展率ともに2T-3よりも小さく、側壁鋼板の効果と考えられる。また、RC床版で見られるねじりモーメント



図一七 輪荷走行試験機

によるひびわれが、2T-3・4では見られず、15cm厚のコンクリートを有する合成床版ではねじりモーメントによる床版上面のひびわれは発生しないと考えられる。

2Sの供試体のひびわれは、2T-4よりもさらに減少し、全く処女状態と変わらず200万回の載荷に耐えた。

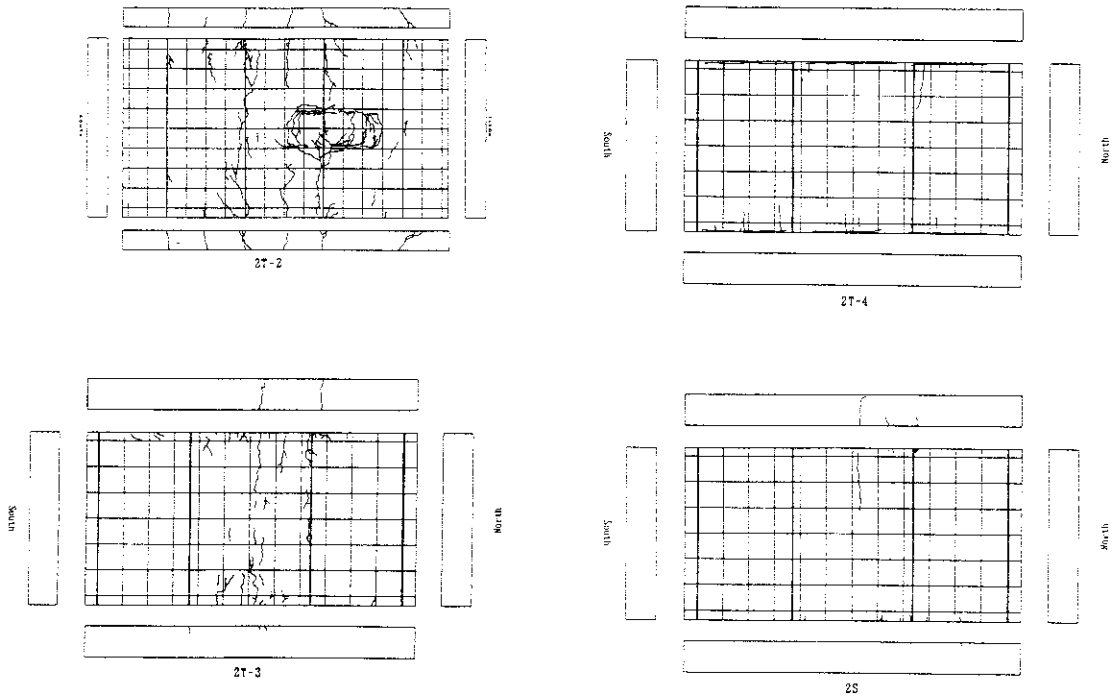
表一 二 載荷装置の能力

載荷能力	10~30tf
荷重移動範囲	床版中央から 100cm
走行速度	28往復/分 最大速度12.2km/時
車輪 (鋼製)	外径 500mm, 幅 300mm
油圧ジャッキストローク	60mm
動的ストローク	0~20mm
荷重保持能力	動的変位差20mm/時 で20%以内 (アキュムレータ装置)

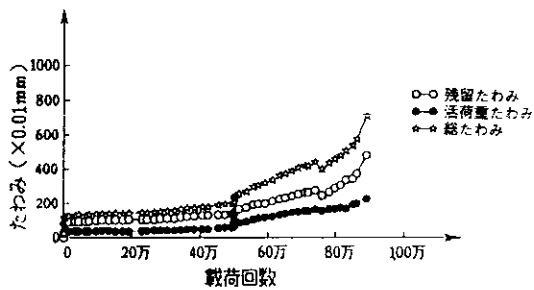
2-4-2 たわみの結果

各供試体の中央たわみ-サイクル曲線を図-9に示す。

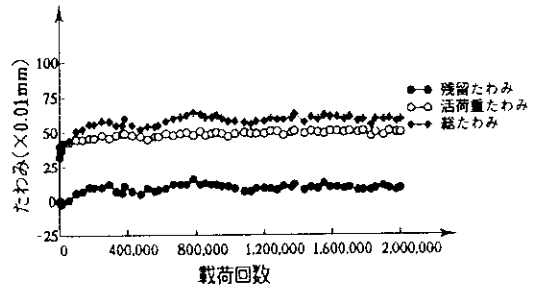
2T-3の活荷重たわみの増加率は、2T-2に比べてかなり小さい。これは16φのスタッドを使用したため、スタッドの受けるせん断力による変形が小さくなっているためである。残留たわみ



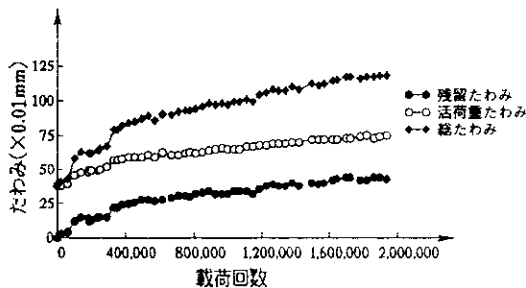
図一八 実験終了時のひびわれ状況



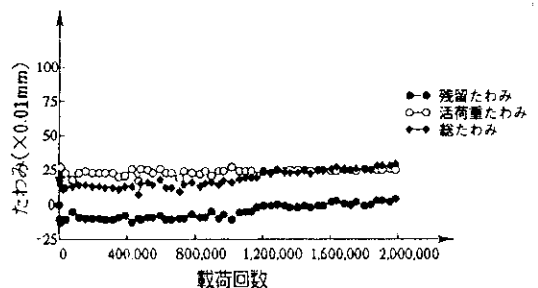
(a) 2 T-2



(c) 2 T-4



(b) 2 T-3



(d) 2 S

図-9 中央たわみ-サイクル曲線

においては、2 T-2と比較するとほとんど発生しておらず、鋼板とコンクリートの付着が完全に切れずに、ほぼ合成のままであると考えられる。

2 T-4は、2 T-3に比べさらにたわみの増加率が減少している。また、残留たわみはさらに大きく差が出ている。2 T-3は載荷回数10000回付近で増加が始まり、その後緩やかに増加しているが、2 T-4ではその後はほとんど増加は見られない。これは、側壁鋼板の存在によって、コンクリート下面と鋼板表面との間のずれが拘束されたためであろう。

2 Sは、前述の2体に比べ、全てたわみ値はさらに減少している。活荷重たわみは載荷直後急激に増加し、その後はほとんど増加せず横ばい状態が実験終了時の載荷回数200万回まで続いている。これは、床版厚の増加にともない、床版の曲げ剛性が増加したものと考えられる。

荷重-たわみ曲線の傾きは $2 S > 2 T-4 > 2 T-3 > 2 T-2$ となっており、2 T-2では載荷回数70万回付近から線形性が失われていたが、今回の3体はほぼ線形のままであった。

2-4-3 ずれ-サイクル曲線

2 T-3、2 Sについて供試体の側面に変位計を設置し、ずれの測定を行った。2 T-2では100万回以降はずれが目視できる状態であったが、今回はほとんど発生しておらず、16φのスタッドによってコンクリートと鋼板との剛性が良好に保たれているものと判断できる。

2-4-4 スタッドの破壊状況

外観、たわみの変化状況から、今回の3体の供試体ではスタッドの疲労破壊は発生していないと判断されるが、より正確に確認するため実験後、コンクリートをはつった。

2 T-2においては、多数の箇所スタッドが

疲労破壊していた。特に、せん断力の変動が大きい床版中央部に広く分布していた。

今回の供試体においては、2 T-3で4箇所、2 T-4では1箇所、2 Sでは全く破断箇所が存在しなかった。2 T-3で4本もスタッドが取れたことは、相当な疲労損傷があったと認めざるを得ず、ほぼ200万回で疲労からみた使用限界状態に達したと判断できる。2 T-4では1本だけであり、側壁鋼板の影響が大きいことが分かる。また、2 Sでは全スタッドがまだ健全な状態で残存していたことから、実橋床版と同じ18cm厚のコンクリート床版にしたことによる効果であろう。

2-5 まとめ

今回の実験結果と既往の実験データならびに解析から、実橋床版の設計は安全なものであることが確認できた。以下、実験により判明したことをまとめる。

- (1) 実用の合成鋼床版ではφ16のスタッドを250mmピッチ必要であると推定したが、実験的に有効であると確認できた。
- (2) コンクリート床版厚は15cmでも実用上問題が無いが、設計どおりの18cmにすると十分な安全性が確保できる。
- (3) 側壁鋼板はコンクリートと鋼板のずれを防止するのに有効である。
- (4) コンクリート上面には、ねじりモーメントによるひびわれは発生しないと思われる。ただし、コンクリートには乾燥収縮が必ず発生するので、スタッドによる拘束によって乾燥収縮ひびわれ発生の可能性はある。

3 活荷重たわみと縦目地

縦目地部の走行安全性、すなわち、縦目地の段差を通過する時に運転操作を誤るような衝撃や、ハンドルをとられたりするようなことが無いかどうか等に対する縦目地の段差許容範囲は図-10のよう報告されている。⁶⁾ また、本工区における橋軸方向のずれは最大38mm発生する。したがって、縦目地の選定条件を

許容段差 30mm

許容ずれ量 40mm

とし、非排水構造の荷重支持式ゴムジョイントを採用した。

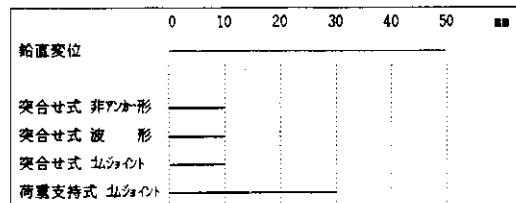
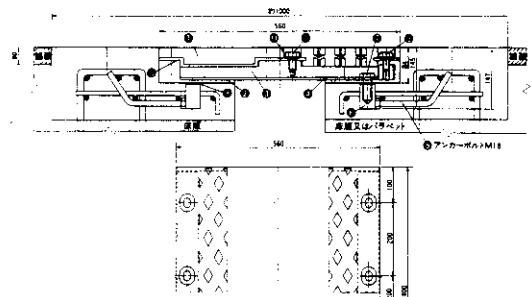


図-10 走行安全性に関する段差許容範囲

荷重支持式ゴムジョイントは、床版遊間が閉塞しており輪荷重の移動がスムーズであるために走行性、安全性、使用性に有利であり、最も適したジョイントである。本工区で採用を予定している荷重支持型ゴムジョイントを図-11に示す。



■各部名称及び材質

番号	名称	材質	番号	名称	材質
①	縦目地ゴム	ネオプレン	⑦	突合せ継ぎボルト	JIS-F/M18
②	表付け	SS41	⑧	縦目地	ネオプレン
③	裏付け	SS41	⑨	縦目地中央継ぎボルト	JIS-F/M18
④	防塵ゴム	ネオプレン	⑩	縦目地中央継ぎボルト	JIS-F/M18
⑤	アンカーボルト	S13C	⑪	縦目地中央継ぎボルト	SS41
⑥	表付け継ぎボルト	SS41	⑫	縦目地裏付けボルト	SS41

図-11 縦目地用ジョイント

一方、実際の走行時の活荷重たわみは、設計活荷重たわみの概ね0.4~0.6であると報告されている。⁷⁾⁸⁾そこで、本工区における主桁の許容活荷重たわみは、

$$\delta = 30 / 0.6 = 50\text{mm}$$

と設定した。

4 合成鋼床版桁の設計

今回採用した合成鋼床版桁の設計手法について以下にまとめる。

4-1 設計思想

以下の設計思想に従って、設計を行った。

- (1) デッキプレートは、RC床版の型枠作用、下側鉄筋としての床版作用、主桁フランジとしての主桁作用に抵抗するものとする。
- (2) デッキプレートに対する許容応力度は、コンクリート硬化前は局部座屈を考慮するが、硬化後は考慮しない。
- (3) 縦リブ間隔は、道示3.2.1より最大700mm程度とする。

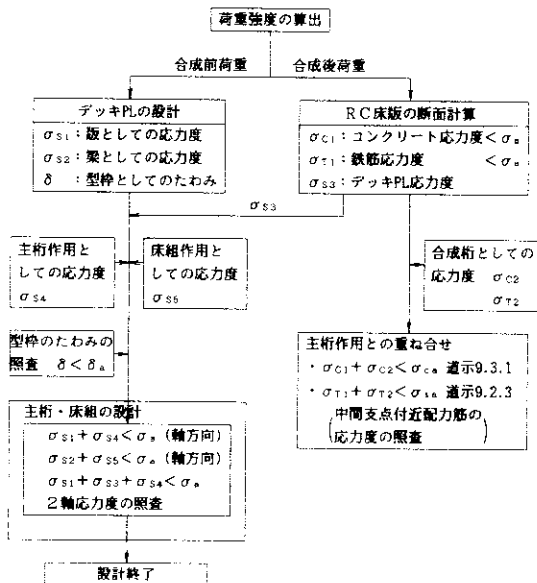


図-12 合成鋼床版の設計フロー

(4) T荷重に対する床版厚はスタッドジベルの径・配置は、過去の研究成果や実験及び解析結果から、床版厚は18cm(デッキプレート厚10mm)、スタッドジベルは、16φ×110mmで250mm間隔とする。

(5) L荷重に対しては、合成桁として期待できるとの見解もあるが、基準が確立していないこともあり、鋼断面は非合成桁として設計する。また、橋軸方向鉄筋、コンクリートの応力度、スタッドジベル配置、活荷重たわみ、製作キャンパーは、プレストレスしない連続合成桁として、道示9章によって照査する。

4-2 合成鋼床版の設計

合成鋼床版の設計フローを図-12に示す。

4-3 主桁の設計

主桁の設計フローを図-13に示す。

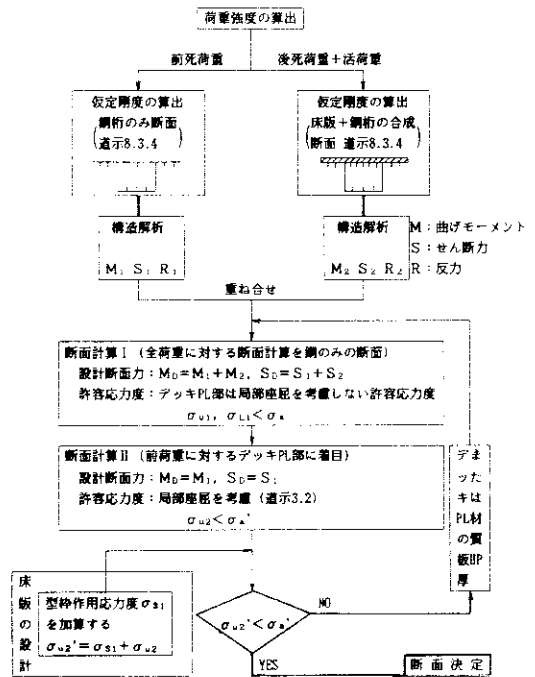


図-13 主桁の設計フロー

あとがき

合成鋼床版桁の採用にあたり、今回の実験によって十分な疲労強度を有していることが確認され、現在、工事製作に入っている。しかし、設計手法で示したように、合成効果を100%利用しているとは言い難く、より効率的な構造をめざすとする必要の研究が必要である。その一つとして、現在、L荷重による主桁作用に対する橋軸方向鉄筋の協力度に関する確認実験を実施中である。機会を見て、合成鋼床版桁の施工報告と合わせて報告したいと考えている。

今後、渋滞解消等の目的で、当工区のような出入路工事や拡幅工事が増加するものと思われる。本報告が、それらの一助となれば幸いである。

最後に、実験から設計の実施に至るまで終始貴重な御助言と御指導を賜った大阪大学工学部松井繁之教授、ならびに関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉田聰、木代穰、吉川実：西長堀の設計、阪神高速道路公団技法、第11号、1991. 3
- 2) 松井繁之、佐々木洋、福本土、梶川靖治：走行荷重下における鋼板コンクリート合成床版の疲労特性に関する研究、構造工学論文集、Vol.34A、1988. 3
- 3) 松井繁之、文兌景、福田隆正、高田嘉秀：走行荷重下における改良型合成床版の疲労挙動について、土木学会関西支部年次学術講演概要集、I-3、1991. 6
- 4) 松居繁之、秋山武、渡辺滉、武田芳久：合成鋼床版桁 田中橋の設計と施工、橋梁、1986. 11
- 5) S.MATUI,T.MOON,Y.FUKUMOTO: Relation between Fatigue Strength and Plate Thickness of Highway Bridge Composite Decks, TECHNOLOGY REPORTS OF THE OSAKA UNIVERSITY Vol.42, March 1992
- 6) 阪神高速道路公団：高架橋縦ジョイント構造検討業務報告書、1989. 1
- 7) 土木研究所資料 第701号：設計活荷重に関する研究—交通荷重の実態と橋梁設計への適用—、建設省土木研究所、1971. 11
- 8) 阪神高速道路公団：設計荷重（HDL）委員会報告書、1984. 3