

鋼床版とRC床版の剛結構造に関する検討

Full-scaled Model Tests and Structural Study on Rigid Connection Between Steel Floor Decks and Reinforced Concrete Floor Slabs

佐々木 秀智

Hidetomo SASAKI

川田工業㈱橋梁事業部東京技術部設計二課

町田 文孝

Fumitaka MACHIDA

川田工業㈱技術本部研究室係長

藤井 泰志

Yasushi FUJII

川田工業㈱橋梁事業部東京技術部設計二課

伊藤 博章

Hiroaki ITO

川田工業㈱橋梁事業部東京技術部次長

The conventional practice of joining bridges of different floor deck systems in the direction of vehicular traffic was to provide longitudinal joints (expansion devices) at the connection points making each bridge an independent structure. However, this type of construction does impair vehicular traffic flow, and leads to increased bridge maintenance costs. To overcome these problems, investigations were carried out to develop the rigid connection structures at the boundaries. Three types of rigid connections between the steel floor decks and reinforced concrete slabs were considered, and endurance strength tests were performed on full-scaled models of all three types.

The results, calling for further study, demonstrated that rigid connection made by stud-welding the loop reinforcements show an inferior endurance strength when no longitudinal girders are provided. Rigid connections structures with plate or U ribs arranged at right angles to the bridge axis were found to exhibit adequate strength and endurance and therefore, have a promising potential for use on actual structures.

Key words : rigid connection, strength, fatigue strength, widened bridge decking

1. はじめに

現在まで、高架構造の入出路の増設や幅員の拡幅では、走行性や維持管理の面から増設部も既存部と同様の床版構造とし、床版どうしを剛結する構造を採用する例があった。しかしながら、建築限界や建設用地の確保の難しさから、増設部を既存の橋脚にて支持する構造が必要になる場合、構造上既存橋脚への負担を極力小さくするために、増設部の構造を鋼床版構造とし、床版境界部に縦目地を設けて分離構造としてきた。分離構造の場合、増設部の重量増による既設構造物への影響が小さいというメリットがあるのに対し、縦目地による走行性の悪化、維持管理費の負担増などのマイナス面も生じることが考えられる。そこで、鋼床版とRC床版を橋軸方向に連続し、剛結接合する方法について検討を行うことになった。

鋼構造とコンクリート構造の剛結接合は、斜張橋などにおいて中央径間と側径間の径間割りアンバランスとなり、側径間に重量が重いPC桁を採用しなければならないときに用いられている¹⁾²⁾。この場合、接合部は断面力をスムーズに伝達させるため曲げモーメントおよびせん断力が小さい位置に配置し、接合方法としてスタッドジベルの他、橋軸方向にPC鋼材を配置するなどして剛構造としている。また、同様なケースとして、床版構造として一般部を鋼床版、重量を重くしなければならない範囲

をRC床版にし、この鋼床版部とRC床版部を剛結接合するための検討が行われている³⁾⁴⁾。この場合も接合位置は断面力が小さく、力の伝達が比較的スムーズに行いやすい位置としている。しかしながら、入出路の増設や幅員の拡幅など、橋軸方向に連続して剛結接合する場合には、直接輪荷重が接合部に載荷されるという条件を考慮すると、これまでに用いてきた接合構造をそのまま適用することは難しく、新たにその構造について検討する必要がある。

今回、首都高速道路公団一ツ橋出路増設工事において橋脚を新たに設けられないこと、交差する街路の関係、および走行性の問題から既存RC床版橋梁に、新設鋼床版橋梁を、縦目地を設けず一体化する必要が生じ、より最適な剛結構造を選定する機会を得た。

そこで、本検討は、橋軸直角方向の曲げが主な作用断面力であるRC床版と鋼床版の橋軸方向の剛結構造に関する耐荷力と耐久性について検討を行った。これらの検討では、接合部の力の伝達方法の異なる3タイプの剛結構造を選定し、接合構造が実際と同じ大きさの部分模型を製作して、静的載荷試験と疲労試験を実施した。また、剛結構造とする際、接合部下側に縦桁を設けることにより作用断面力等は小さくなると考えられるが、縦桁を取り付けられない場合も予想し、接合部下側には縦桁を設けないことを前提として、検討を行うこととした。

2. 剛結構造案

接合構造とするにあたり、以下の項目について留意し、それぞれの接合方法について検討することとした。

- ① 接合方法は場所打ちコンクリートとする。
- ② 接合部の幅は既存壁高欄を撤去した部分に設けるため、50 cm程度の大きさとする。
- ③ 応力伝達のスムーズな構造とする。
- ④ 剛結部に直接輪荷重が載荷されることから、疲労に耐えうる構造とする。

本検討では、以下に示す3タイプの剛結構造を対象とすることとした。

(1) TYPE-1 (ループ筋をスタッド溶接した接合構造)

本接合方法は、鋼床版が主桁の一部として作用するものと考えデッキプレートの補強リブを橋軸方向に配置し、

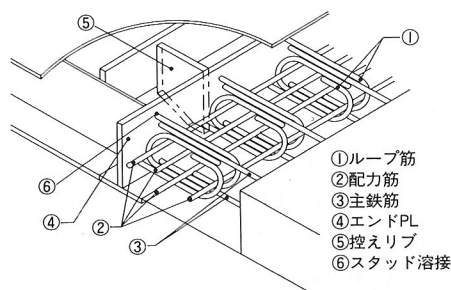


図1 剛結接合構造TYPE-1

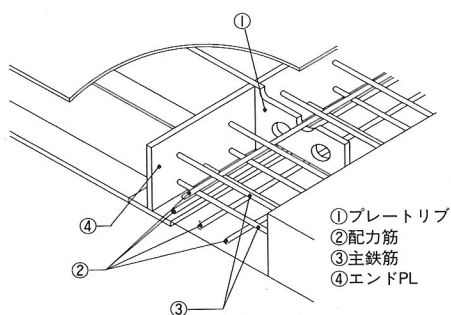


図2 剛結接合構造TYPE-2

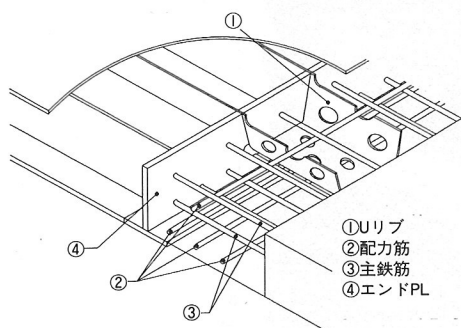


図3 剛結接合構造TYPE-3

床版の主鉄筋方向の力の伝達にはプレキャスト床版の接合方法⁵⁾として用いられているループ状重ね継手を採用する。このとき、ループ筋はスタッド溶接にて鋼床版のエンドプレートに取り付け、これによりRC床版と鋼床版間の応力の伝達を図る接合構造である（図1）。

(2) TYPE-2 (プレートリブを橋軸直角方向に配置した構造)

鋼床版は床組として作用するものと考え、デッキプレートの補強材であるプレートリブを橋軸直角方向に配置する。また、そのプレートリブを接合部に設けた鋼床版のエンドプレートを貫通させて既存RC床版からの主鉄筋と接合部に一体化し、RC床版と鋼床版の応力の伝達を図る接合構造である（図2）。

(3) TYPE-3 (Uリブを橋軸直角方向に配置した構造)

本接合方法は、基本的にはTYPE-2と同じであり、橋軸直角方向の曲げ剛性を高めるための床組補強材としてプレートリブに代わりUリブを用いた接合構造である（図3）。

3. 実験概要

(1) 試験体

本検討では、接合部への主な作用力である曲げによる接合部の耐力と耐久性を評価するために実験を行うこととした。試験体の大きさは、実際の橋軸直角方向の曲げ変形により接合部に作用する断面力を評価するため、床版支間を2.5 mとした。橋軸方向の長さは、試験機の大きさからの制約もあるが、ある程度板としての効果も考慮できる1.5～2 mとした。また、各タイプの試験体のRC床版部は既存の床版厚を想定し20 cmとすることとした。鋼床版部は、デッキプレートの板厚を12 mm、エンドプレートの板厚を16 mmとし、補強リブについては実構造を想定した板厚、構成とした。なお、TYPE-2およびTYPE-3の鋼床版の補強リブがエンドプレートを貫通する際の溶接は完全溶け込み溶接とした。図4～6に各タイプの試験体の概要図を示す。

試験体の製作は実際の施工を想定し、既設のRC床版部を製作後、鋼床版部を取り付け、接合部の配筋およびコンクリートの打設を行い、一体化した。既設のRC床版のコンクリートは、実際と同じ配合強度とし、早強コンクリートを使用した。また、接合部のコンクリートは実施工においてジェットコンクリートを使用することが考えられることから、ジェットコンクリートを使用することとした。

(2) 実験方法

a) 静的載荷試験

静的載荷試験の荷重載荷は、図7に示すように着目部

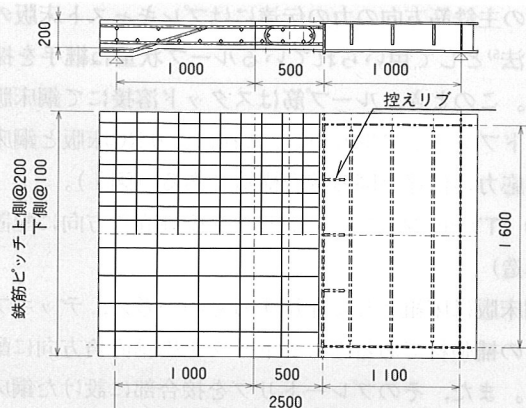


図4 TYPE-1試験体概要図

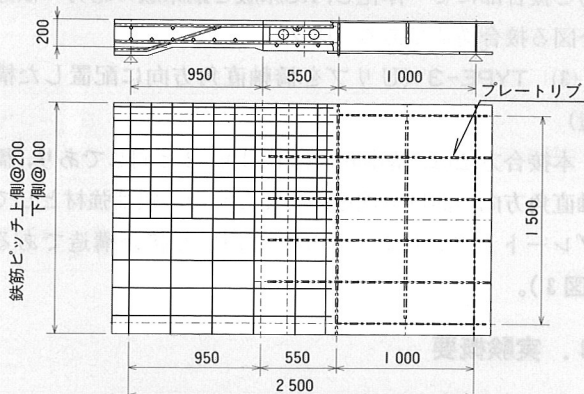


図5 TYPE-2試験体概要図

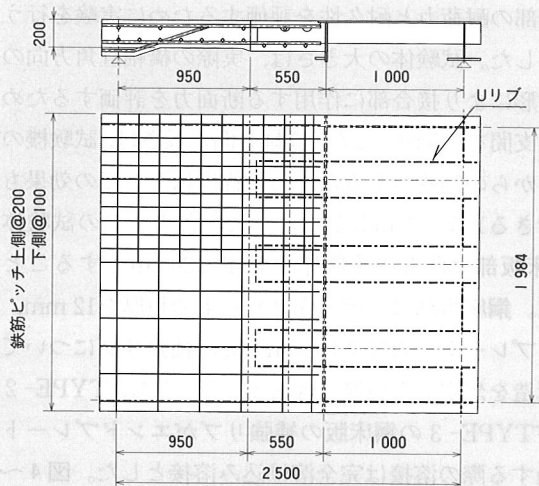


図6 TYPE-3試験体概要図

での曲げが最大になるように接合部中央の直上で行った。荷重は、輪荷重を想定して50 cm×20 cmの面荷重とした。また、荷重の載荷は、サイクル1として設計荷重(10 tf)まで、サイクル2として設計荷重の2倍まで、サイクル3として破壊までのサイクルで実施した。

b) 疲労試験

疲労試験の荷重載荷も耐荷力試験と同位置にて行い、試験機として50tf油圧サーボ型疲労試験機を用いた。試験荷重は、各タイプともに下限荷重1 tf, 上限荷重10tf (設計輪荷重)に設定し、2.5Hzの正弦波で載荷した。ま

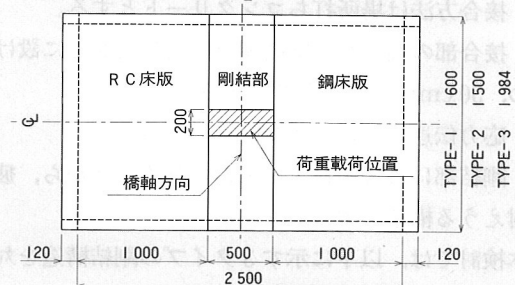
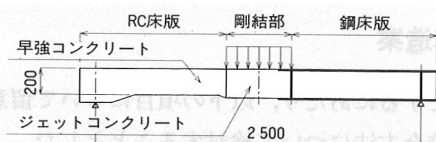


図7 荷重載荷図

た、繰り返し載荷による接合部のひびわれの発生、変形の残留、作用応力の変化などの損傷状況を調べるため、一定間隔ごとに繰り返し載荷を中断し、静的載荷試験を実施した。

4. 実験結果

(1) 静的載荷試験

各タイプの試験結果を表1に示す。

ひびわれの発生は、TYPE-1～3ともに荷重載荷点直下の接合部下面で発生しており、ひび割れ発生荷重、終局耐力は、試験体の剛性がわずかず異なるが、どちらの結果を見てもTYPE-3が大きく、TYPE-1, 2はほぼ同じ数値となっていた。

TYPE-1の破壊形態は、まず荷重の増加に伴い鋼床版エンドプレートと接合部の境界部下側での開口が大きくなるとともに、コンクリート下面での橋軸方向のひびわれが増加し、最終的には鋼床版と接合部の境界でコンクリートが圧壊の破壊性状を示した。TYPE-2とTYPE-3では境界部下側の開口がさほど大きくならないうちに

表1 静的載荷試験結果

		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3
静的載荷試験	ひびわれ発生荷重(tf)	13	11	15
	終局耐力(tf)	48.5	48.8	50以上

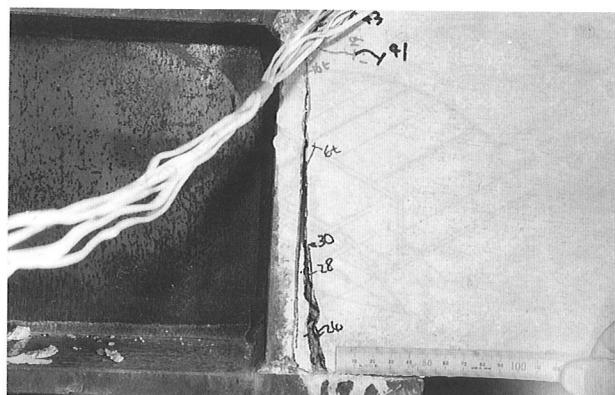


写真1 TYPE-1 終局時形状



写真2 TYPE-2 終局時形状

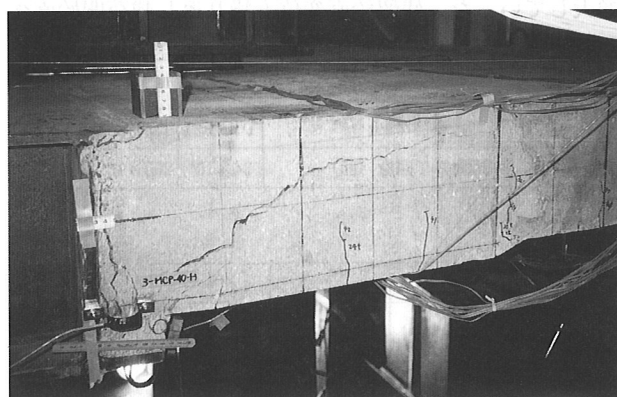


写真3 TYPE-3 終局時形状

境界でコンクリートが圧壊の破壊性状を示した。各タイプの破壊状況を写真1～3に示す。

図8, 9に各タイプの載荷荷重10tf(設計輪荷重)時と45tf時の橋軸直角方向の鉛直変位の分布を, 図10に各タイプの載荷位置直下での鉛直変位と荷重の関係を示す。

TYPE-2とTYPE-3の変位分布は, 設計方針が同じであることからほぼ同様の分布形状を示しており, 鋼床版とRC床版が接合部において連続した形状になっている。これに対してTYPE-1の変位分布は鋼床版エンドプレートと接合部との境界部下側で開口が生じることにより鋼床版とRC床版との連続性が失われ, その位置で角折れた形状を示している。

各タイプの接合部下側の主鉄筋のひずみと荷重の関係を図11に, TYPE-1のループ筋および控えリブのひずみと荷重の関係を図12, 13に示す。接合部内の主鉄筋ひずみを見ると破壊時においても鉄筋は弾性域内にあるとともに, 控えリブとエンドプレートとの溶接部近傍のひずみについても同様に弾性域内にあった。また, ループ筋と主鉄筋のひずみはほぼ一致しており接合部内で一体化した挙動を示していた。

TYPE-2のリブプレートのひずみと荷重の関係を図14に示す。破壊時には主鉄筋のひずみが降伏点近くに達していたのに対し, 接合部内のリブプレートのひずみはさほど大きな値を示してはいなかった。

これに対し, 鋼床版側のリブプレートのひずみは接合

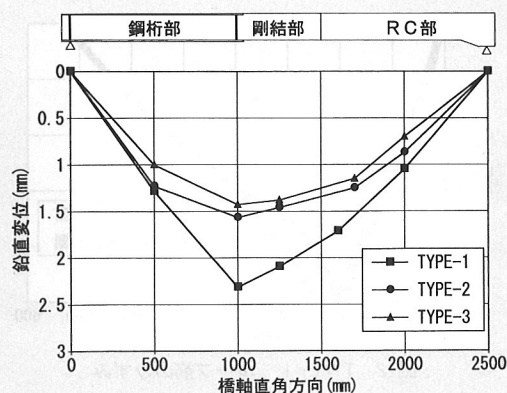


図8 橋軸直角方向鉛直変位(設計荷重時)

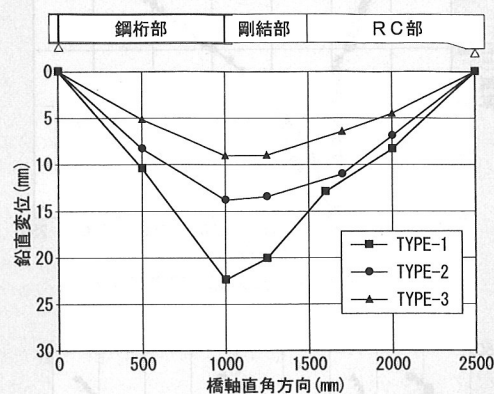


図9 橋軸直角方向鉛直変位(45tf時)

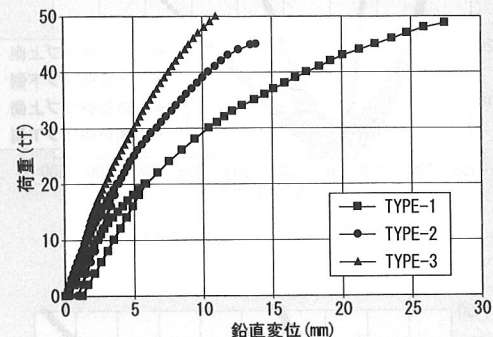


図10 荷重直下の鉛直変位

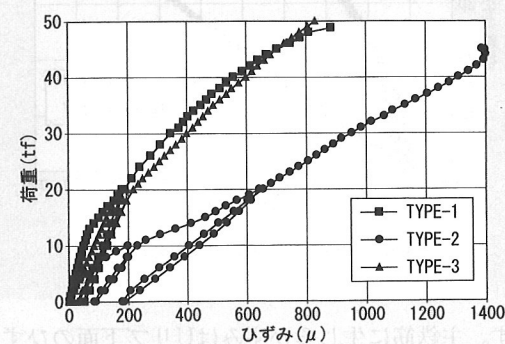


図11 主鉄筋のひずみ

部の角折れを抑制するのにリブプレートが効いており, このため発生ひずみが大きくなっている。

TYPE-3のUリブ下面のひずみと荷重の関係を図15

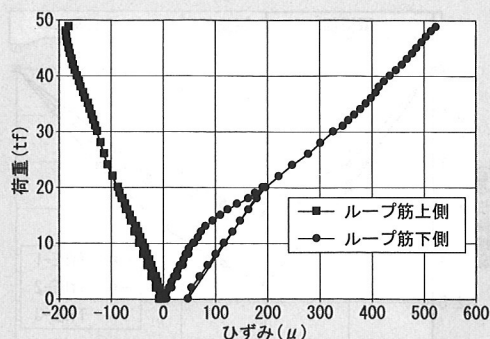


図12 TYPE-1 ループ筋のひずみ

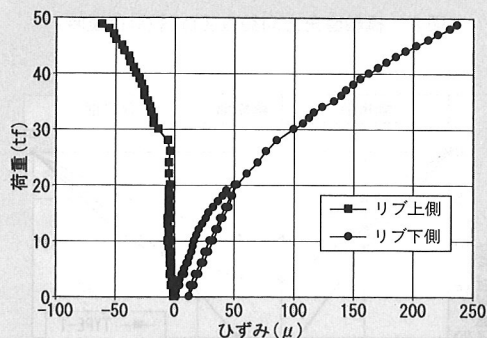


図13 TYPE-1 控え部リブのひずみ

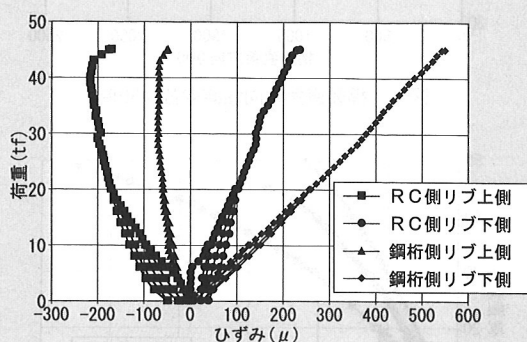


図14 TYPE-2 リブプレートのひずみ

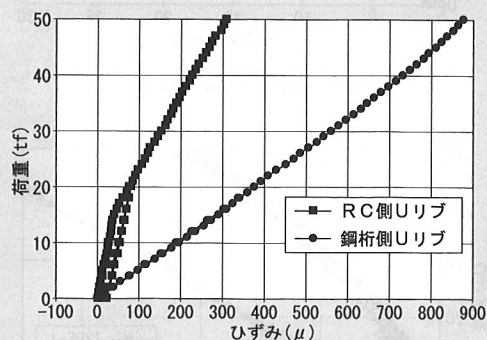


図15 TYPE-3 Uリブ下面のひずみ

に示す。主鉄筋に生じるひずみはUリブ下面のひずみとほぼ一致しており、一体化した挙動を示した。

(2) 疲労試験

疲労試験の結果を以下に示す。

TYPE-1では、繰返し回数10～18万回に発生した控えリブと鋼床版デッキプレートとの溶接部の疲労亀裂が

34万回付近で写真4に示すようにデッキプレートに達し、試験続行が難しくなり疲労試験を終了した。このとき、接合部およびRC床版下面のひびわれの発生は打継ぎ目のみだった。また、TYPE-2,3については繰返し回数が200万回を経過しても接合部に大きな変化は見られなかった(表2)。

TYPE-1～3の荷重点直下の鉛直変位と繰返し回数の関係を図16に、また残留変位と繰返し回数の関係を図17に示す。TYPE-1は、疲労試験開始直後から鋼床版エンドプレートと接合部との境界部下側に微小な開口が始まり、2万回を超えるあたりからその残留開口量も増大していった。残留鉛直変位も繰返し荷重開始直後から増加の傾向を示したが、測定鉛直変位は控えリブに

表2 疲労試験結果

		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3
疲労試験	試験終了回数(回)	34×10^4	200×10^4	200×10^4

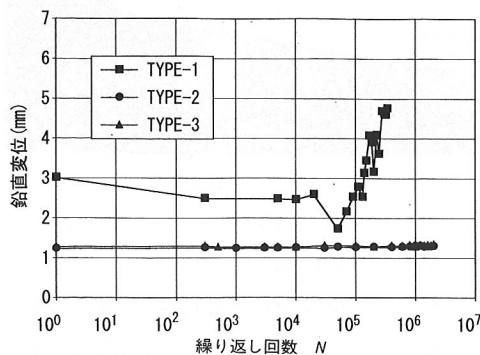


図16 荷重直下の測定変位

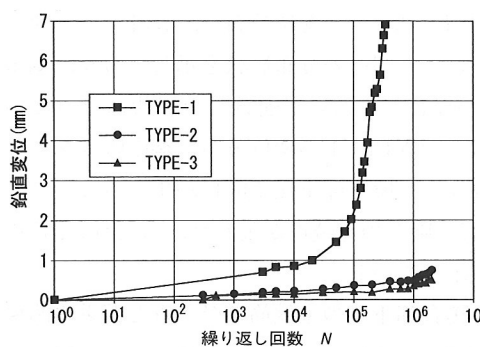


図17 荷重直下の残留変位

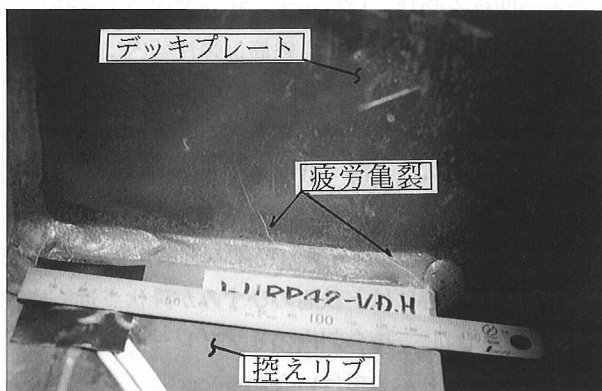


写真4 TYPE-1 疲労亀裂

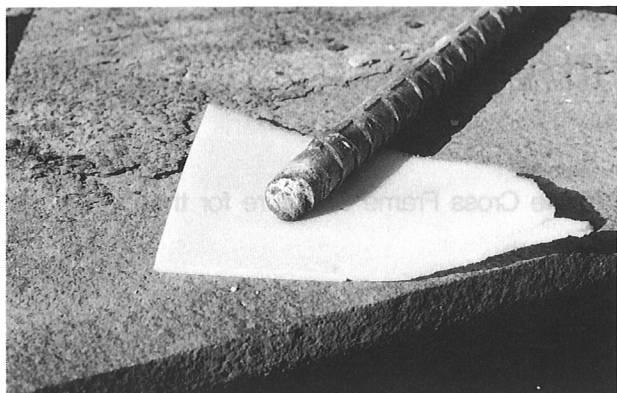


写真5 ループ筋スタッド溶接破断面

疲労亀裂が発生したと思われる10~18万回から増加し始めた。このとき、接合部の載荷点直下の主鉄筋のひずみは、測定ひずみ、残留ひずみともに控えリブに亀裂が生じてから増加し始めた。試験終了後、接合部のコンクリートを取り除き解体検査を行った結果、エンドプレートにスタッド溶接したループ筋34本中、22本が溶接部にて破断が確認された。写真5に破断状況を示す。このようなことから、TYPE-1のような接合構造の耐久性に対してはループ筋のスタッド溶接および控えリブ溶接部の耐久性に寄与するところが大きいものと考えられる。

TYPE-2の載荷点直下の鉛直変位のうち測定変位の繰り返し載荷による変化は無く、残留変位が徐々に増加していく傾向を示していた。このときの接合部の主鉄筋のひずみは、わずかだが測定ひずみも増加する傾向を示していた。床版下面のひびわれについては載荷開始から20万回までの間に打継ぎ目と接合部中央に発生したが、それ以降の発生は見られなかった。

TYPE-3の載荷点直下の鉛直変位についてもTYPE-2同様測定変位の変化は生じていないが、残留変位が徐々に増加する傾向を示している。このときの接合部の主鉄筋のひずみは、100万回を経過してからわずかに増加する傾向を示したが、200万回までの間に20 μ 程度であった。また、ひびわれの発生は載荷点直下の接合部においてわずかに見られたが、その発生量はTYPE-2に比べても非常に少なかった。

5. 結論

既存RC床版と増設の鋼床版とを剛結接合する構造に関して鋼床版構造を考慮した3タイプの結合構造を提案し、接合構造を実物大とした部分模型にて試験を実施した。検討結果について整理すると以下の結論が得られた。

- ① RC床版と鋼床版の剛結接合を行う際、鋼床版の補強リブを橋軸直角方向に配置し、そのリブを鋼床版のエンドプレートを貫通させて接合部まで延ばした剛結接合構造が耐力、耐久性の両面から優れていた。
- ② 鋼床版の補強リブを接合部まで延ばす方法では、U

リブのようにリブ剛性が高いものを使うことにより、耐力は大きくなる。しかしながら、このような場合、製作性や既存RC床版からの主鉄筋との取り合いが問題になるため、施工性、経済性を考えて構造を検討することが必要である。

- ③ RC床版と鋼床版を剛結接合する場合、ループ状継手を接合構造として用いることは耐久性の面から難しいと判断された。ただし、縦桁を接合部の下に設けるなどして発生断面力や変形量をおさえることにより、その適用も可能と考えられるが、その際耐久性について再度検討を要するものと思われる。

6. あとがき

本検討にあたっては、首都高速道路公団第三建設部設計課ならびに、銀座工事事務所の方々にご指導いただき、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 森 邦久・帆足博明・木村一也：生口橋接合部実験報告，本四技報，Vol.13，No.49，1989.1.
- 2) 山岸一彦・西本 聡・矢野保広：生口橋主桁接合部の設計・施工，本四技報，Vol.15，No.58，1991.4.
- 3) 山田健太郎・高橋 章・酒井吉永・横山正則・井ヶ瀬良則：鋼床版とRC床版接合部の疲労強度，構造工学論文集，Vol.40A，1994.3.
- 4) 山田健太郎・北川晴彦・酒井吉永・横山正則・井ヶ瀬：縦リブ補強した鋼床版とRC床版接合部の疲労照査，構造工学論文集，Vol.41A，1995.3.
- 5) 前田研一・橘 吉宏・柳澤則文・志村 勉・梶川康男：合成桁斜張橋・プレキャスト床版の設計法とループ状重ね継手の耐久性に関する研究，構造工学論文集，Vol.36A，1990.3.
- 6) 富永博夫・荻原充信・大塚秀樹・佐々木秀智・伊藤博章・町田文孝：鋼床版とRC床版の剛結接合構造に関する実験，土木学会第50回年次学術講演会講演概要集，I-A405，1995.9.
- 7) 船本浩二・富永博夫・大塚秀樹・佐々木秀智・町田文孝：鋼床版とRC床版の剛結接合構造に関する実験，第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，1995.11.
- 8) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，1994.2.