

(39) 鋼床版とRC床版の剛結接合構造に関する実験

EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTH OF RIGID CONNECTIONS
BETWEEN STEEL FLOOR DECKS AND REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS.

船本浩二*, 富永博夫*, 大塚秀樹*, 佐々木秀智**, 町田文孝***

By Kouji HUNAMOTO, Hiroo TOMINAGA, Hideki OHTSUKA, Hidetomo SASAKI and Fumitaka MACHIDA

Recent improvement works of Tokyo Metropolitan Expressways often require rigid connections between the steel floor decks of newly constructed expressways and existing concrete floor slabs to exclude longitudinal expansion joints for enabling more comfortable driving and less maintenance routine. The system of rigid connection, however, is still under research. In this paper, three types of steel decks, having either reinforcing bars, rib plates, or closed rib plates stick out into the connection part of a concrete slab, were tested for both static strength and fatigue durability. As a result, two types of them, with either rib plates or closed rib plates, are found to be feasible.

1. はじめに

首都高速道路においては、既設の高架橋に新設の路線や出路を接続する場合、鋼床版構造を採用する事例が増えている。これは、工期短縮を目的としたり、下部構造のコンパクト化により施工条件の厳しい狭隘な現場への対応を図ろうとするためである。一方、既設の床版としては一般的にはRC構造が採用されている。従来、既設のRC床版に鋼床版を接続する場合には、縦目地を設けて構造的に縁を切る方法を採用してきた。この構造は、既設、新設をそれぞれ独立の構造物として建設することにより、新設構造物による荷重増の影響を既設構造物に与えないというメリットがある。その反面、縦目地の採用により車両走行性に対するマイナス面や維持修繕の負担増という短所も存在していた。そこで、今回、RC床版と鋼床版を剛結して一体化する構造について検討することとした。

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が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、活荷重によるたわみ差が異なる構造物を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厳しい荷重環境にあることも考慮すると、これまでの断面力が小さい箇所に設けられている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。

そこで、本検討では、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接合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を変えた3タイプの剛結接合構造を選定し、接合構造が実際と同じ大きさの部分模型を製作して、耐荷力試験と疲労

*首都高速道路公団第三建設部設計課 **川田工業(株)橋梁事業部設計2課 ***川田工業(株)技術本部研究室

試験を実施した。また、剛結接合する際、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ことも予想されることから、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. 剛結接合構造案

接合構造について検討する際、接合部の鋼床版が主桁の一部として作用する場合と床版および床組として作用する場合とでは、その接合構造は変化するものと考えられる。そこで、本検討では設計条件によって鋼床版構造が変わることを考慮して、それぞれの接合方法について検討することとした。

本検討において対象とした剛結接合構造は図-1に示す3タイプであり、以下にその特徴を示す。

(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、床版の主鉄筋方向の力の伝達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床版と鋼床版間の力の伝達を図る接合構造である。

(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床版からの鉄筋と接合部にて一体化し、RC床版と鋼床版の力の伝達を図る接合構造である。

(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の構造と同じであり、橋軸直角方向の曲げ剛性を高めるために床組補強材としてプレートリブに代わりUリブを配置した接合構造である。

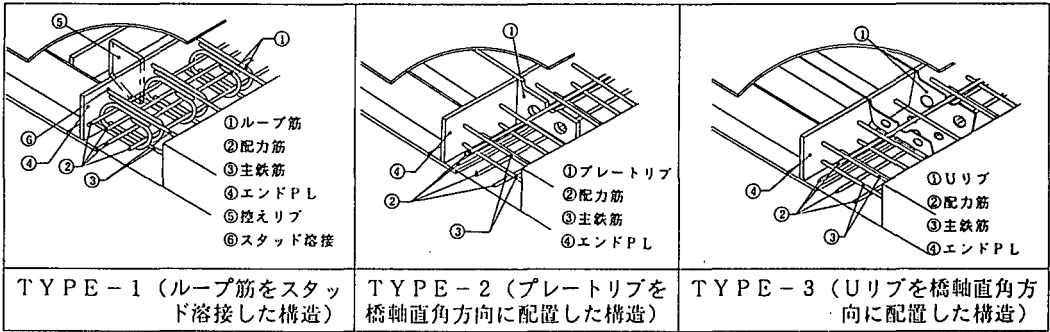


図-1 剛結接合構造

3. 実験概要

3.1 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荷力と耐久性を評価するために実験を行う。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2.5mとした。試験体の橋軸方向の長さは、試験機の大きさからの制約もあるが、接合部の構造としてTYPE-3のリブ間隔が広いUリブが3本配置でき、ある程度板としての効果も考慮できる1.5~2m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20cmとすることとした。鋼床版部は、デッキプレートの板厚を12mm、エンドプレートの板厚を16mm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-2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たことから、ジェットコンクリートを使用することとした。

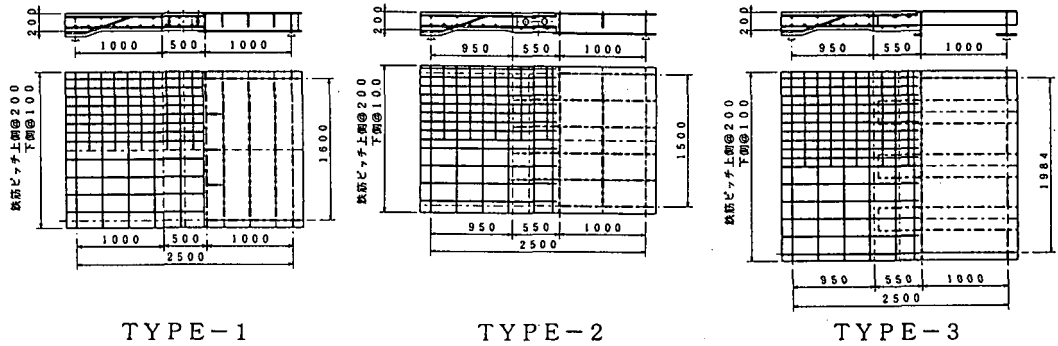


図-2 試験体概要図

3.2 実験方法

(1) 耐力試験

耐力試験の荷重載荷は、図-3に示すように着目部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。載荷は、輪荷重を想定して50cm×20cmの面載荷とした。また、荷重の載荷サイクルは、サイクル1として設計荷重(10tf)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。

(2) 疲労試験

疲労試験の荷重載荷も耐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1tf、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、一定間隔毎に繰り返し載荷を中断し、静的載荷試験を実施した。

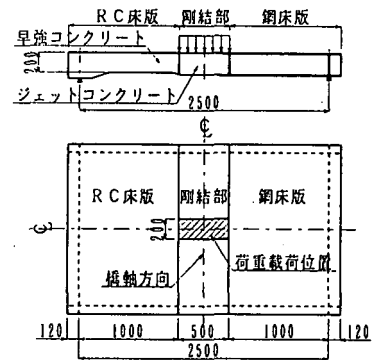


図-3 荷重載荷位置

4. 実験結果

(1) 耐力試験

各タイプの試験結果を表-1に示す。

表-1 試験結果

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、発生荷重はTYPE-2が11tfとほぼ設計荷重に等しい荷重であり、他のタイプについてもそれを若干上回る程度の荷重であった。各タイプの終局耐力は、試験体の剛性が

僅かずつ異なるが、TYPE-3が大きく、TYPE-1、2はほぼ同じ終局耐力になっていた。TYPE-1の破壊形態は、まず荷重の増加にともな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

		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3
耐力試験	ひびわれ発生荷重(tf)	13	11	15
	終局耐力(tf)	48.45	48.8	50以上
疲労試験	試験終了回数(回)	34×10 ⁴	200×10 ⁴	200×10 ⁴

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りないうちに境界でコンクリートが圧壊した。図-4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-5に各タイプの載荷位置直下での鉛直変位-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とんど同じ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た為、その位置で角折れし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-荷重の関係を図-6に、TYPE-1のループ筋および控えリブのひずみ-荷重の関係を図-7、8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-荷重の関係を図-9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とはなっていなかった。

これに対し、鋼床版側のエンドプレートのひずみは接合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-荷重の関係を図-10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ていた。

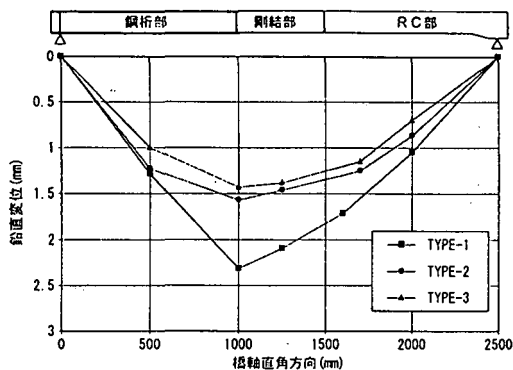
(2) 疲労試験

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34万回にて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200万回経過しても接合部に大きな変化は見られなかった。

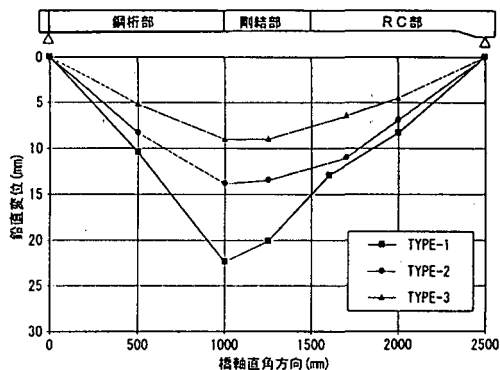
TYPE-1~3の載荷点直下の鉛直変位と繰返し回数の関係を図-11に、また残留変位と繰返し回数の関係を図-12に示す。TYPE-1は、疲労試験開始直後から鋼床版エンドプレートと接合部との境界部下側に微少な開口が始まり、繰返し回数の増加とともに開口は大きくなり、2万回を越えるあたりからその残留開口量も増大していった。残留鉛直変位も繰返し載荷開始直後から増加の傾向を示したが、測定鉛直変位は控えリブに疲労亀裂が発生したと思われる10~18万回から増加し始めた。このとき、接合部の載荷点直下の主鉄筋のひずみは、測定ひずみ、残留ひずみともに控えリブに亀裂が生じてから増加し始めた。また、当初、接合部の鉄筋の付着が切れて、境界部の開口が始まったと思われるが、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していた。このようなことから、タイプ-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、僅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僅かに増加する傾向を示したが、200万回までの間に20 μ の増加でしかなかった。また、ひびわれの発生は載荷点直下の接合部において僅かに見られたが、その発生量はTYPE-2に比べても非常に少な



a) 設計荷重時



b) 4.5 tf時

図-4 橋軸直角方向鉛直変位

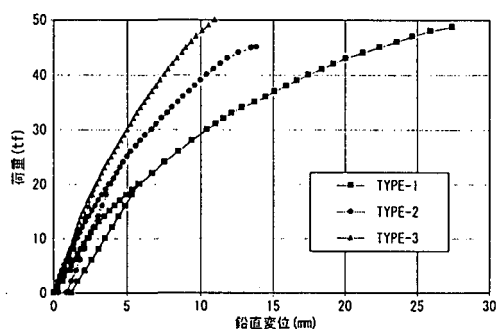


図-5 荷重直下の鉛直変位

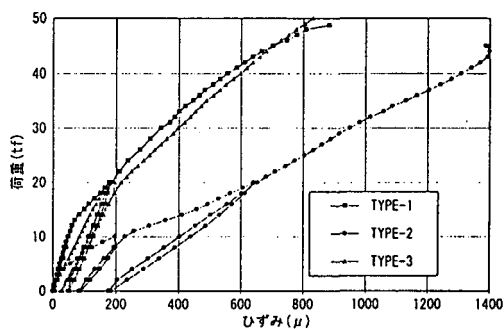


図-6 主鉄筋のひずみ

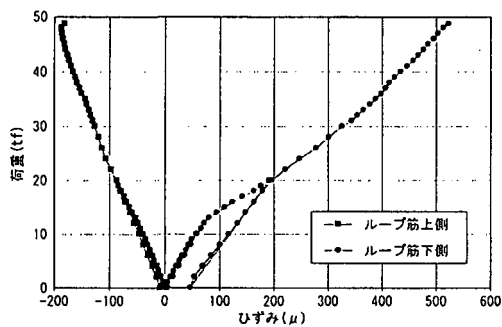


図-7 TYPE-1 ループ筋のひずみ

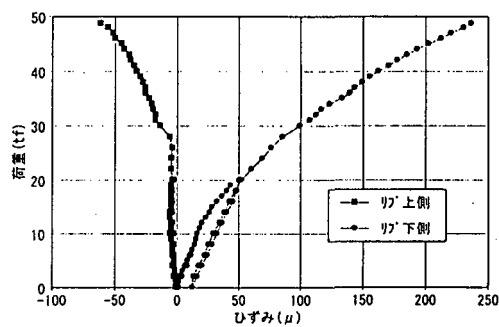


図-8 TYPE-1 控えリブのひずみ

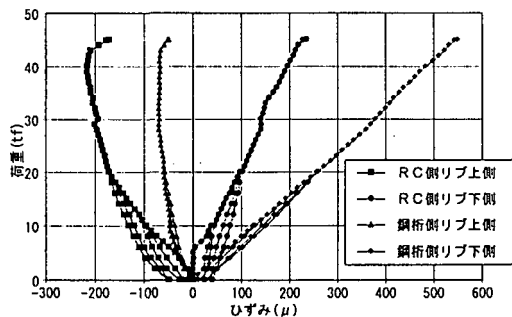


図-9 TYPE-2 リブプレートのひずみ

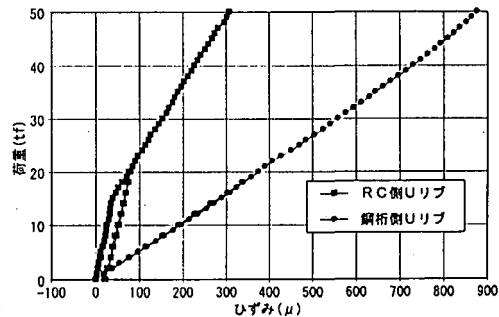


図-10 TYPE-3 Uリブ下面のひずみ

かった。

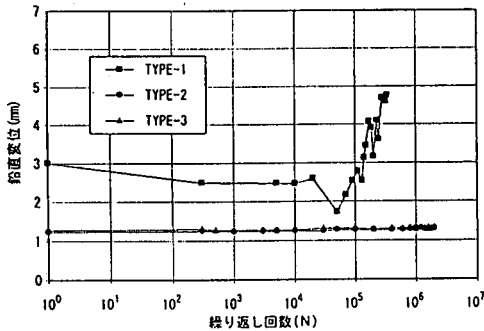


図-1 1 荷重直下の測定変位

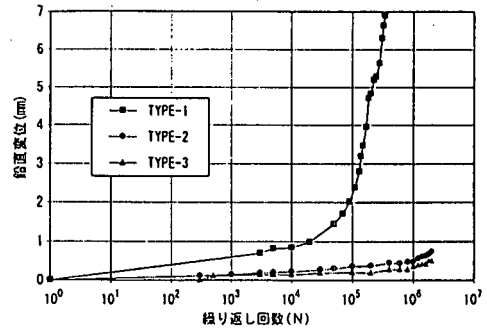


図-1 2 荷重直下の残留変位

5. 結論

高架構造における入出路の増設や幅員の拡幅時の既存RC床版と増設の鋼床版との剛結接合構造に関して鋼床版構造を考慮した3タイプを提案し、それらについて接合構造を実物大とした部分模型を製作して耐荷力試験と疲労試験を行い、その性能について調べ、比較を行った。これらの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に貫通させて接合部まで延ばした剛結接合構造が耐荷力、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くなることにより、耐荷力は大きくなる。しかしながら、このような方法の場合、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ってくるため、耐久性、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 剛性が異なることによりたわみ差が大きいRC床版と鋼床版を接合する場合、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小さくすれば、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しなければならない。

【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, 井ヶ瀬良則: 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) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 丸善, 1994. 2.