

(55) ハイブリッドスラブのせん断補強方法に関する実験的検討

永田 淳¹・佐々木 保隆²・内海 靖³・済藤 英明⁴・酒井 正和⁵・清宮 理⁶

^{1,2}正会員 (株) 横河ブリッジ 技術本部 (〒273-0026 千葉県船橋市山野町2-7番地)

¹E-mail:j.nagata@yokogawa-bridge.co.jp

³正会員 川田工業(株) 技術開発本部 (〒114-8562 東京都北区滝野川1-3-11)

⁴正会員 川崎重工業(株) 橋梁水門技術部 (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島8番地)

⁵正会員 三井造船(株) 鉄構・物流事業本部 (〒104-8439 東京都中央区築地5丁目6番4号)

⁶フェロー 早稲田大学 理工学部 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

洋上に建設される空港の滑走路に鋼・コンクリートハイブリッドスラブの適用が検討されている。格子構造で支持される洋上空港の滑走路において、せん断力が卓越すると考えられる支持桁部近傍のハイブリッドスラブに関して、そのせん断耐荷力性状を確認する必要がある。本検討では、洋上空港における実際の鋼格子構造の支持条件と航空機の主脚配置を想定した梁形式供試体の静的載荷実験により、ハイブリッドスラブのせん断耐荷力特性の把握と補強方法の検討を行った。検討の結果、ハイブリッドスラブの破壊モードは斜め圧縮破壊を呈し設計耐荷力の3倍程度の耐荷力を有することを確認するとともに、現場施工性を考慮した新形式のせん断補強鉄筋の提案を行った。

Key Words : hybrid slab , airport , shear strength ,shear reinforcing bar

1. はじめに

道路橋床版として開発された高耐久性と急速施工が期待される孔あき鋼板リブを用いた鋼・コンクリート合成床版（以下、ハイブリッドスラブと呼ぶ。）を洋上に建設される空港の滑走路およびエプロンに適用することが検討されている（図-1）。本構造形式の床版が有する①高い押抜きせん断耐力および変位特性、②支持桁部の負曲げ挙動などのハイブリッドスラブの基本性状については、既に平成14年度に実施した実物大モデルによる静的載荷実験¹⁾により良好な力学性状を有していることを確認している。しかし、図-2に示すように、航空機の輪荷重が支持桁上に作用した場合、支持桁部近傍のせん断力が卓越すると考えられる部位はハイブリッドスラブの一般部とは異なる構造形式であることから、そのせん断耐荷力性状を確認する必要がある。本実験は、洋上空港における実際の鋼格子構造の支持条件と航空機の主脚配置を想定した梁形式供試体の静的載荷実験により、ハイブリッドスラブのせん断特性を把握するものである。

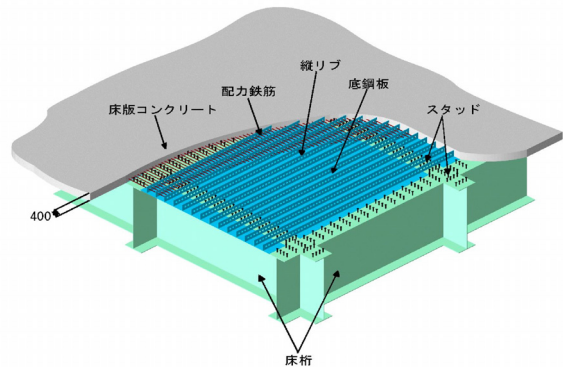


図-1 洋上ハイブリッドスラブの構造概要

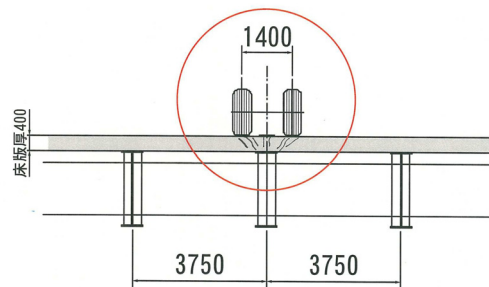
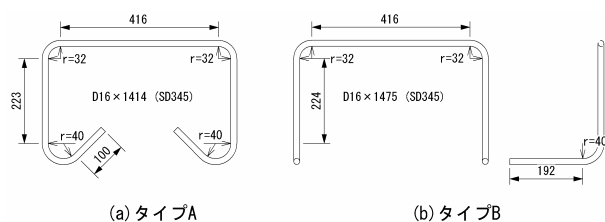


図-2 航空機主脚荷重による支持桁上床版のせん断破壊

2. 実験の概要

(1) 供試体

供試体は、洋上空港の棧橋工法における床版の支持条件に従い、床桁の支持間隔が3.75m、床版厚40cmのハイブリッドスラブ梁として設計した。供試体の形状・寸法を図－3に示す。供試体は着目断面方向（リブ直角方向断面とリブ平行方向断面）についてTYPE-1およびTYPE-2の2種類、せん断補強の方法について（せん断補強なし、補強筋タイプA、補強筋タイプB）の3種類の計6タイプとした。図－4には、タイプAおよびタイプBのせん断補強鉄筋の形状・寸法を示す。ここで、タイプAのせん断補強鉄筋は、圧縮側鉄筋にフックで定着する一般的構造形式である。しかし、タイプAのせん断補強鉄筋はその形状から、ハイブリッドスラブへの施工が困難と考えられる。タイプBのせん断補強鉄筋は、フック形状の定着に替えてL型の定着を採用することにより、ハイブリッドスラブにおいて比較的容易な施工を可能とするものである。図－5にせん断補強鉄筋の配置を示す。さらに、ハイブリッドスラブとの比較用供試体としてハイブリッドスラブと同じ断面設計のRC形式供試体（図－6）についても実験を行った。表－1に供試体の一覧を示す。



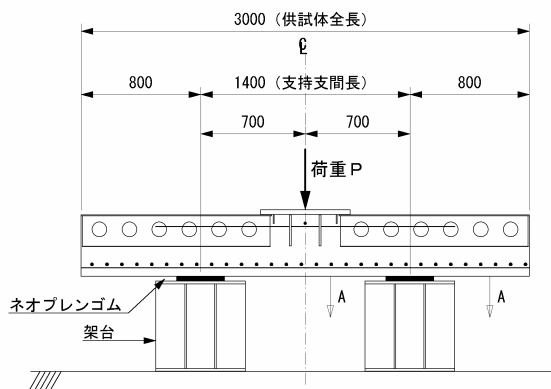
(a) タイプA

(b) タイプB

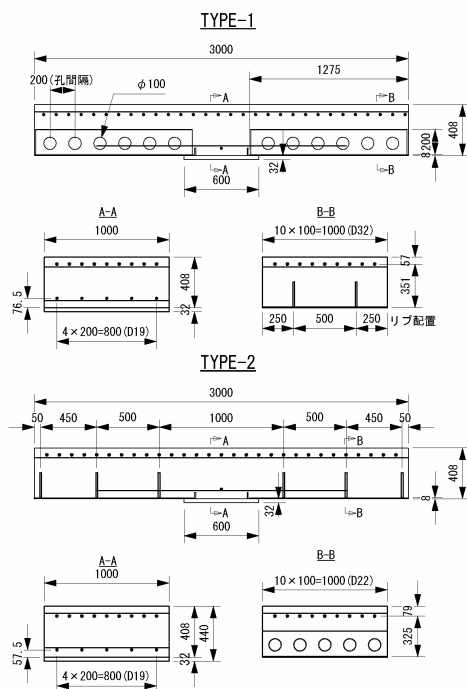
図－4 せん断補強鉄筋

表－1 供試体一覧

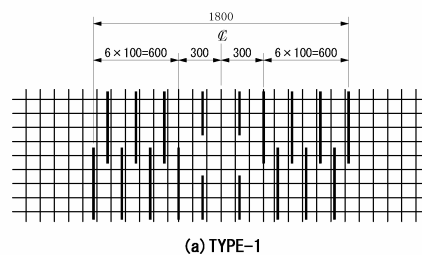
床版タイプ	供試体名	着目断面	せん断補強
ハイブリッドスラブ	TYPE-1-1	リブ直角方向	なし
	TYPE-1-2		タイプA
	TYPE-1-3		タイプB
	TYPE-2-1	リブ平行方向	なし
	TYPE-2-2		タイプA
	TYPE-2-3		タイプB
RC床版	TYPE-RC-2	—	タイプA



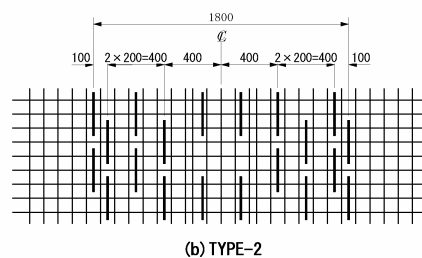
図－7 载荷方法の概要



図－3 ハイブリッドスラブ供試体

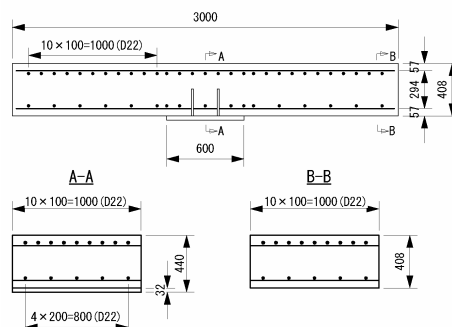


(a) TYPE-1



(b) TYPE-2

図－5 せん断補強鉄筋の配置



図－6 RC形式供試体

(2) 載荷方法

試体への載荷方法の概要を図－7に示す。供試体への載荷は、B777-200型旅客機の主輪配置を模したゴム支承により単純支持された供試体の支持支間中央に一点集中荷重Pを容量12000kNの油圧ジャッキにより静的に載荷する方法で行った。なお、本試験におけるせん断スパン比は1.71となり、ディープビームのせん断載荷である。

(3) コンクリート材料

コンクリートの配合条件を表－2に、材料試験結果を表－3に示す。

表－2 コンクリートの配合条件

種類	呼び強度 [N/mm ²]	スランプ [cm]	粗骨材最大寸法 [mm]	セメント種類
普通	35	8	20	N

表－3 コンクリートの材料試験結果

供試体	圧縮強度	E _c	引張強度
	N/mm ²	kN/mm ²	N/mm ²
TYPE-1	34.5	30.2	2.87
TYPE-2	36.4	29.8	2.51
TYPE-RC	34.1	25.8	2.25

3. 実験結果および考察

ハイブリッドスラブ、RC床版供試体ともに、次の①～④に示す過程で破壊に至った。すなわち、①曲げひび割れ（初期ひび割れ）の発生、②斜めひび割れの発生、③鉄筋の降伏、④コンクリートの圧壊による圧縮せん断破壊となった。実験結果の一覧を表－4に示す。

表－4 実験結果一覧

供試体名	初期ひび割れ荷重 [kN]	斜めひび割れ荷重 [kN]	最大荷重 [kN]
TYPE-1-1	400	1000	3994(1.00)
TYPE-1-2	350	1125	5061(1.27)
TYPE-1-3	406	1150	5143(1.29)
TYPE-2-1	448	900	4190(1.00)
TYPE-2-2	548	900	4633(1.11)
TYPE-2-3	550	1200	4876(1.16)
TYPE-RC-2	550	900	4696

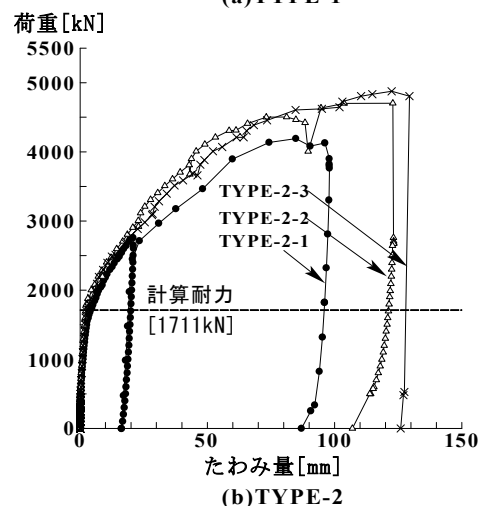
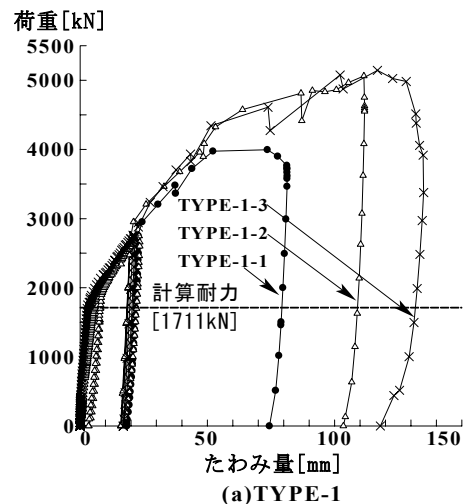
()内は無補強モデルとの比

(1) 荷重－たわみ関係

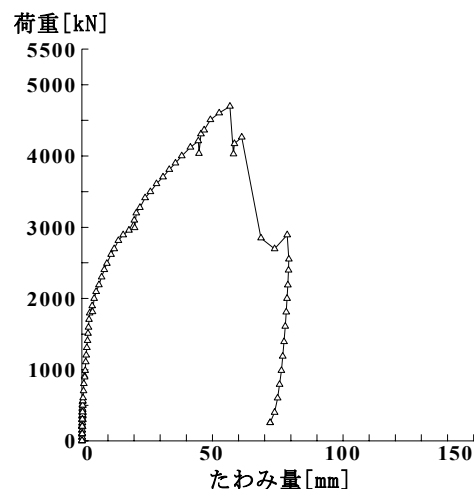
ハイブリッドスラブ供試体の荷重－たわみ関係を図－8に示す。同図には、計算せん断耐荷力（1711kN）を併せて示した。TYPE-1供試体TYPE-2供試体ともに、表－4に示した斜めひび割れ発生荷重程度までは同じ挙動を示した。斜めひび割れ発生後では、たわみ剛性、最大荷重および最大荷重時におけるたわみ量のいずれにおいても、せん断補強鉄筋を配置した供試体が無補強の供試体を上回る結果となった。また、せん断補強鉄筋の形状のちがによる差異は無かった。

RC形式供試体の荷重－たわみ関係を図－9に示す。RC形式供試体では、斜めひび割れ発生から最大荷重に

至るまでの荷重－たわみ特性（たわみ剛性、最大荷重）は、せん断補強を行ったハイブリッドスラブ供試体と等しかった。しかし、最大荷重に達した直後に急激な荷重低下が発生したことから、最大荷重時におけるたわみ量はハイブリッドスラブ供試体の1/2以下となった。



図－8 荷重－たわみ関係（ハイブリッドスラブ）



図－9 荷重－たわみ関係（RC床版）

(2) ひび割れ性状

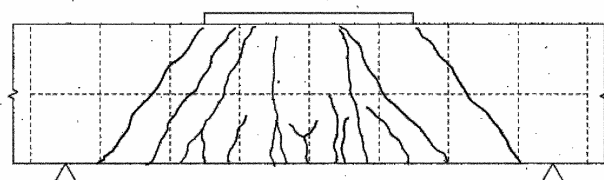
本節では支持桁上に生じる曲げひび割れの性状を示す。タイプBのせん断補強鉄筋を用いたハイブリッドスラブ供試体（TYPE-1-3、TYPE-2-3）およびタイプAのせん断補強鉄筋を用いたRC形式供試体（TYPE-RC-2）の荷重－ひび割れ幅関係を図－10、図－11に示す。また、設計曲げモーメント相当荷重載荷時におけるひび割れ幅および当該荷重除去後における残留ひび割れ幅の一覧を表－5に示す。

ハイブリッドスラブ供試体、RC形式供試体共に、設計曲げモーメント相当荷重作用時において、RC標準示方書の許容ひび割れ幅の規定における特に厳しい腐食環境の規定値である0.19mmを満たしかつ、荷重除去後におけるひび割れ幅の残留量も微少であることがわかった。

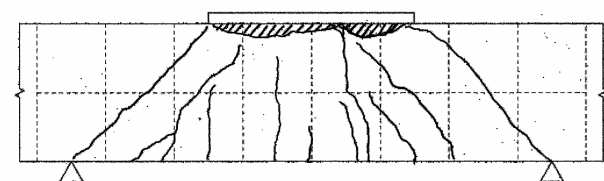
TYPE-1-2供試体、TYPE-2-2供試体およびTYPE-RC-2供試体の最終ひび割れ状況を図－12に示す。

TYPE-1-2供試体では、支間中央に曲げによる初期ひび割れが発生した後、配力鉄筋間隔（100mm）に曲げひび割れが順次発生した。次に荷重が斜めひび割れ荷重に達すると、支点と支持桁フランジの端部を結ぶ線上に斜めひび割れが発生した。TYPE-2-2供試体もTYPE-1-2供試体と同様なひび割れ挙動を示したが、支持桁フランジ下面のコンクリートが剥落した。

RC供試体では、支持桁フランジ端部近傍のコンクリ

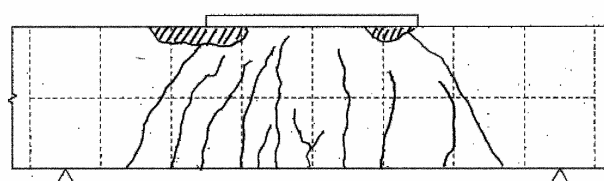


(a) 最終ひび割れ状況 (TYPE-1-2)



ハッチ部コンクリート欠落

(b) 最終ひび割れ状況 (TYPE-2-2)



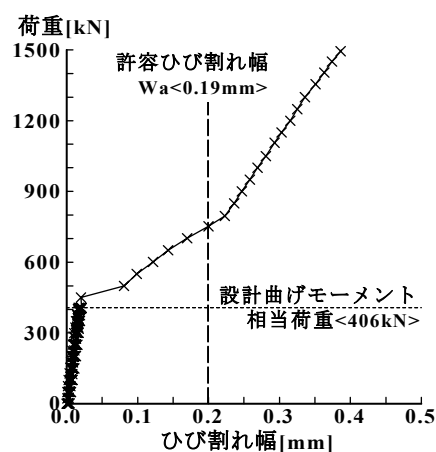
ハッチ部コンクリート欠落

(c) 最終ひび割れ状況 (TYPE-RC-2)

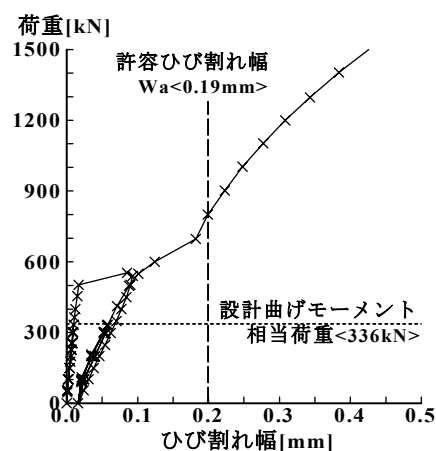
メッシュ：200mm×200mm

図－12 供試体の最終ひび割れ状況

ートが圧縮により著しく損壊し、せん断によるずれを生じた。

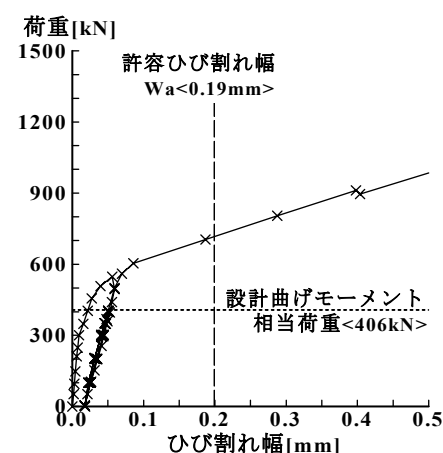


(a) TYPE-1-3



(b) TYPE-2-3

図－10 荷重－ひび割れ幅関係（ハイブリッドスラブ）



図－11 荷重－ひび割れ幅関係（RC床版）

表－5 設計荷重時におけるひび割れ幅の一覧

供試体名	設計荷重 [kN]	ひび割れ幅 [mm]	残留ひび割れ幅 [mm]
TYPE-1-3	406	0.023	0.007
TYPE-2-3	336	0.058	0.025
TYPE-RC-2	406	0.093	0.025

(3) 鋼部材の応力性状

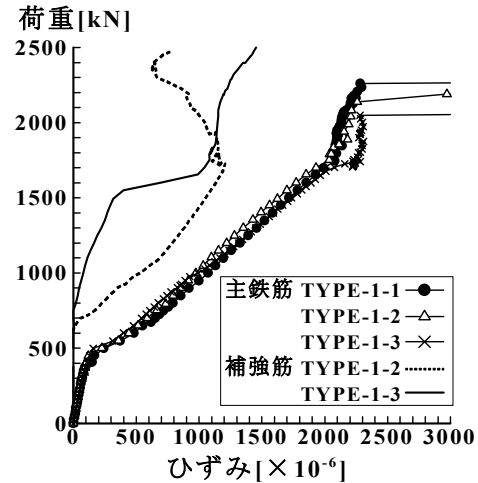
本節では、せん断補強鉄筋およびハイブリッドスラブ底鋼板が耐力性状に及ぼす影響について、鋼部材のひずみ性状に着目して検討する。

ハイブリッドスラブ供試体のせん断支間中央断面における鉄筋の荷重とひずみの関係を図-13に示す。TYPE-1供試体、TYPE-2供試体ともに、せん断補強鉄筋の有無によらず主鉄筋の荷重-ひずみ関係は等しいことがわかった。

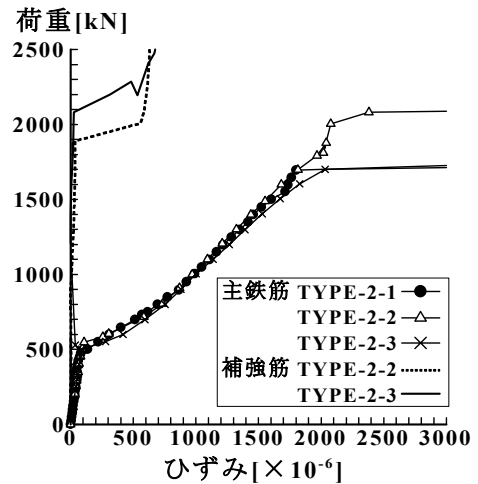
TYPE-1供試体のせん断補強鉄筋には、荷重1000kN（斜めひび割れ荷重程度）から有意な引張りひずみが発生することがわかった。一方、TYPE-2供試体のせん断補強鉄筋には荷重2000kN（主鉄筋降伏程度）から有意な引張りひずみが発生した。これより、TYPE-1供試体すなわちハイブリッドスラブのリブ直角方向断面に配置したせん断補強鉄筋は斜めひび割れの発生から断面力に抵抗し、TYPE-2供試体すなわちリブ平行断面に配置したせん断補強鉄筋は主鉄筋が降伏した後に断面力に抵抗することがわかった。表-4のせん断補強鉄筋による最大耐力の上昇割合に関してTYPE-1供試体がTYPE-2供試体より大きな値を示すことは、TYPE-2供試体と比較してTYPE-1供試体のせん断補強鉄筋が、破壊過程のより初期の段階から機能することによるものと考えられる。

図-13(a)より、TYPE-1-2供試体のせん断補強鉄筋の発生ひずみ値は荷重1700kNをピークに減少することがわかった。これは、荷重1700kN以上において斜めひび割れおよび曲げひび割れ等のコンクリート部材の損傷が進行したことによって、タイプAせん断補強鉄筋のコンクリート部材に対する定着作用および拘束効果が低下したことによるものと考えられる。一方、TYPE-1-3供試体のせん断補強鉄筋の発生ひずみ値は荷重2500kNまで増加を続けることがわかった。これはタイプBせん断補強鉄筋のL字型の定着部が梁の軸方向に配置される構造のため、コンクリートに発生するひび割れの影響を受けにくいことによるものと考えられる。また、TYPE-2供試体においてせん断補強鉄筋の形状によるひずみ挙動に差異が無いことは、供試体のコンクリートが孔あき鋼板リブによって分断される構造であることおよびせん断補強鉄筋が破壊過程の終局段階において機能することによるものと考えられる。

図-14にRC床版供試体（TYPE-RC-2）の鉄筋ひずみと荷重の関係を示す。RC床版供試体の主鉄筋のひずみ挙動はハイブリッドスラブと同様であった。また、せん断補強鉄筋には荷重1800kNで最大250 μ のひずみが発生し、その後荷重の増加とともにひずみは減少し主鉄筋の降伏とほぼ同時にひずみ値が0となった。図-9に示したように、RC床版供試体が最大荷重到達直後に急激な



(a) TYPE-1 供試体



(b) TYPE-2 供試体

図-13 鉄筋の荷重-ひずみ関係(ハイブリッド)

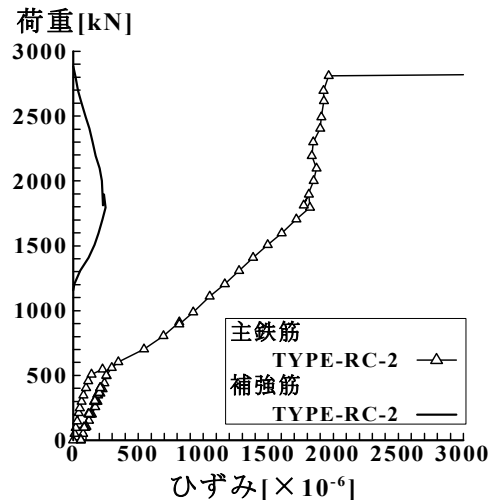


図-14 鉄筋の荷重-ひずみ関係(RC床版)

耐荷力低下を起こし、ハイブリッドスラブ供試体に比べて低い靱性を示したことは、主鉄筋の降伏と同時にせん断補強鉄筋の耐荷能力が失われたことによるものと考えられる。

先に示したように、ハイブリッドスラブがRC床版に比べて高い靱性を有することがわかった。ここで、TYPE-2-3供試体のせん断支間中央断面における底鋼板ひずみと荷重の関係を図-18に示す。図-18より、ハイブリッドスラブの底鋼板には、主鉄筋降伏までは梁の曲げ作用による圧縮ひずみが発生し、主鉄筋降伏以降は引張りひずみが発生することがわかった。底鋼板に発生した引張りひずみは、供試体コンクリートに生じた斜め圧縮力に対して底鋼板がコンクリートを拘束したことによる生じ

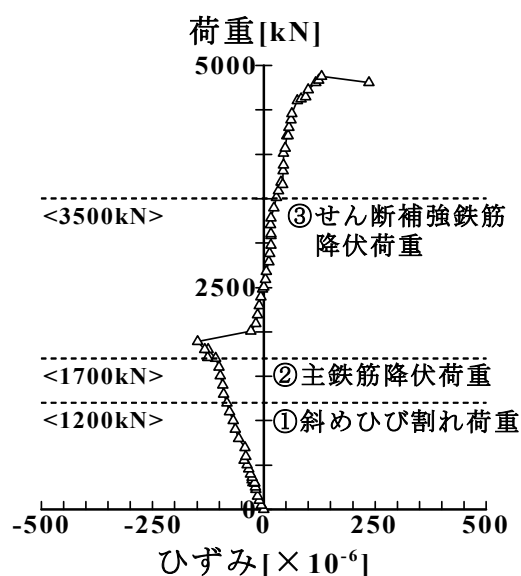


図-18 底鋼板の荷重-ひずみ関係(TYPE-2-3)

たとえられる。この底鋼板の拘束作用によって、ハイブリッドスラブ供試体が最大荷重到達後も高い靱性を示したと考えられる。

4. まとめ

洋上空港の滑走路への適用が検討されているハイブリッドスラブに関して、そのせん断耐荷力特性の把握と補強方法の検討を目的とした梁形式試験体の載荷破壊実験を行った。本検討の範囲で得られた結果を以下にまとめる。

- ①現場において孔あき鋼板リブを有するハイブリッドスラブへの施工が容易な、フックによらないL型の定着による新しい形状のせん断補強鉄筋を提案した。
- ②新しい形状のせん断補強鉄筋は、一般的な形状のせん断補強鉄筋と同等以上のせん断補強効果を有する。
- ③支持桁上の床版に航空機の輪荷重が作用した場合における梁の最終破壊形式は、コンクリートの圧縮による圧縮せん断破壊となった。
- ④ハイブリッドスラブでは、底鋼板が圧縮コンクリートを拘束すること等により、RC床版に比べて高い靱性を示す。
- ⑤設計荷重でコンクリートのひび割れ幅、残留ひび割れ幅ともRC床版より小さくなった。

参考文献

- 1) 小山, 佐々木, 酒井, 内海, 済藤, 清宮: 大型栈橋ハイブリッドスラブの静的載荷実験, 第58回年次学術講演会講演概要集, 平成15年9月

AN EXPERIMENTAL STUDY ON NEW SHAPE REINFORCEMENT FOR THE HYBRID SLAB ON THE AIRPORT ON SEA

Jun NAGATA, Yasutaka SASAKI, Yasushi UCHIUMI, Hideaki SAITOU,
Masakazu SAKAI and Osamu KIYOMIYA

The application of steel and a concrete hybrid slab is being examined in the airport deck on the sea. It is necessary to confirm the shear strength properties of the hybrid slab which is on the support girder. This study intended for confirming the the shear strength properties of the hybrid slab, and performance of the new type rebar. Therefore, this papar reports the test results on the shearing behaviour of both steel-concrete hybrid beam and reinforced concrete beam.