

大型航空機を対象とした合成床版の押し抜きせん断耐力

九州大学大学院 学生会員 ○山中翔太

九州大学大学院 フェロー会員 日野伸一 九州大学大学院 正会員 山口浩平

日本工営(株) 正会員 友田富雄 成田国際空港(株) 正会員 金子雅廣

1. 目的

空港拡張工事の問題点としては、施工時に空港土木施設や周辺の道路の長期間閉鎖、また誘導路や滑走路の路面高の変更が厳しいなどの制約条件が挙げられる。そこで既設構造物に影響を与えない拡張方法が必要となる。さらに、LA-0 荷重という大きな輪荷重が走行する環境下での疲労耐久性の確保が必要であることから、その橋梁形式として低桁高で、かつ床版部の疲労耐久性が相対的に高い鋼コンクリート合成床版橋を採用した。今回の床版の設計においては、輪荷重は1輪あたり390kNを対象とした航空機荷重を考慮しており、その値は道路橋における設計荷重の約4倍となっている。疲労耐久性の確保については、自動車荷重として実績のある評価手法を適用しているが、LA-0 荷重という大きな輪荷重が作用した際、材料の非線形性の影響や予期せぬ応力集中が発生する可能性がある。そこで本研究では、押し抜きせん断耐力の確保、各部位の応力性状の整合性、アーチ型補強鋼板の効果について検討した。

2. 試験概要

供試体概略図を図-1、供試体概要を表-1に示す。case1(実橋梁タイプ)およびcase3(RC床版タイプ)となっており、コンクリート圧縮強度、配筋、ハンチおよび底鋼板の有無をパラメータとした。使用したコンクリート、鉄筋の力学特性を表-2、表-3に示す。載荷装置は載荷能力2000kNの門型載荷装置を用い、下フランジを固定し、載荷板(315×457mm)を介して行った。また、多数の実験によって整合性が確認されている松井式¹⁾で押し抜きせん断耐力を推定した。式(1)、(2)に松井式(1方向、2方向)を示す。

$$P = 2(b + 2d_d)(\tau_{s,max} \cdot x_m + \sigma_{t,max} \cdot C_m) \tag{1}$$

$$P = \tau_{s,max} \{ 2(a + 2x_m)x_d + 2(b + 2x_d)x_m \} + \sigma_{t,max} \{ 2(4C_d + 2d_d + b)C_m + 2(a + 2d_m)C_d \} \tag{2}$$

a, b : 主鉄筋方向、配力鉄筋方向の載荷板辺長(cm), x_m, x_d : 主鉄筋、配力鉄筋に直角な断面の中立軸深さ(cm), d_m, d_d : 主鉄筋、配力鉄筋の有効高さ(cm), C_m, C_d : 主鉄筋、配力鉄筋のかぶり厚さ(cm), $\tau_{s,max}, \sigma_{t,max}$: コンクリートの最大せん断応力度, 最大引張応力度(kg/cm²)

3. FEM 解析概要

図-2に解析モデルを示す。コンクリートは8節点ソリッド要素、鉄筋は埋込み鉄筋要素、鋼材は4節点シェル要素を用いた。拘束条件は、下フランジを鉛直方向に拘束し、載荷条件は載荷板面積に等分布載荷とした。図-3にコンクリートの材料構成則を示す。鉄筋および鋼材は降伏強度到達後応力一定となるバイリニアモデルとし、Von Misesの降伏条件を用いた。

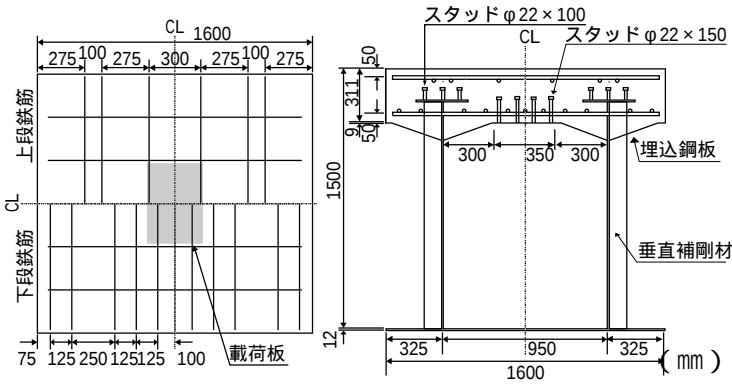


図-1 供試体概略図(case1)

表-1 供試体概要

種類	設計基準強度 (N/mm ²)	主鉄筋	配力鉄筋	ハンチ	底鋼板厚 (mm)
case1	36.0	D19@250	D19@125	1 : 3	9
case3	18.0	D13@250	D13@250	-	-

表-2 コンクリートの力学特性

種類	強度 (N/mm ²)				ヤング係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
	圧縮	引張	せん断	曲げ		
case1	28.7	2.85	7.81	3.74	28.3	0.19
case3	18.5	1.98	4.88	2.98	26.3	0.20

表-3 鉄筋の力学特性

種類	断面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
D13	126.7	384	613	200
D19	286.5	396	585	200

キーワード 合成床版、押し抜きせん断破壊、航空機荷重

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 Tel : 092-802-3392

4. 結果および考察

図 - 4 にコンクリート下面中央部の荷重 - 変位関係を示す。case1 は 600kN 付近で床版下面にひび割れが生じ、版としての剛性が低下したが、著しい荷重低下は見られず、設計荷重 (390kN) の 5 倍以上の十分な耐力を有していた。このことから、ハンチおよび底鋼板は床版の脆性的な破壊抑制に対し、非常に有効であることを確認できた。また case3 は、押し抜きせん断破壊と判断できる顕著な挙動が確認された。190kN 付近で床版下面にひび割れが生じ、最大荷重 602kN 到達後、急激に荷重低下した。また、解析値と比較すると、最大荷重および挙動が概ね一致していることが確認できた。

図 - 5 に下段主鉄筋中央部の荷重 - ひずみ関係を示す。case1 において、主鉄筋は 2000kN 付近で降伏ひずみに相当するひずみを計測したが、設計荷重 (390kN) においては線形領域にあることが確認できた。一方、case3 は、鉄筋が降伏ひずみに達し降伏に至った。また、実験値および解析値におけるひずみの伸び始めの荷重はほぼ同一であり、その後の挙動も概ね一致しており、実験を再現できていることが確認できた。

写真 - 1 に破壊状況を、図 - 6 に最大荷重時の主ひずみコンター図を示す。case1 より 2000kN では顕著なひび割れは見られないことを確認できた。また、底鋼板とコンクリートとの間に隙間ができ付着がとれていないが、実構造物では供試体が連続して連なっているため問題ないと考えられる。一方 case3 は、せん断ひび割れが進展し押し抜きせん断破壊に至った。せん断ひび割れは、設計通り上フランジ上に発生し、解析結果と概ね一致していることが確認できた。

図 - 7 に最大耐力を示す。case3 におけるせん断耐力は、松井式より 537 および 766kN であり、実験値 602kN、解析値 589kN は概ね妥当な値を示している。このことは、本研究において採用した床版厚の評価においても松井式が十分適用できることを示している。

5. まとめ

本実験より、(1) 対象とした合成床版橋は航空機荷重を支える誘導路橋として十分な構造であることが確認できた。(2) 脆性破壊に対するハンチおよび底鋼板の効果が確認できた。(3) 対象とした床版厚の評価においても松井式が十分適用できることを確認できた。

参考文献 1) 前田幸雄他：鉄筋コンクリート床版の押し抜きせん断耐力の評価式，土木学会論文集，第 348/V-1，pp.113-1471，1984.8，2) 崔智宣，山口浩平，日野伸一：鋼繊維補強された軽量 2 種コンクリートの引張軟化特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，pp.1327-1332，2009

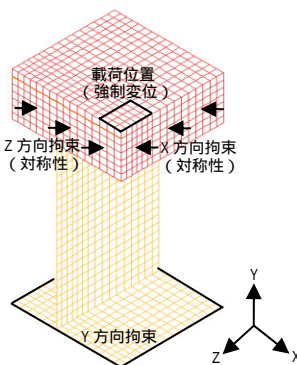
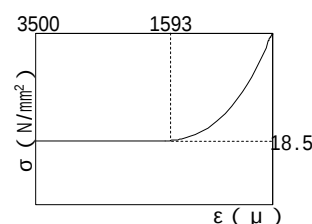
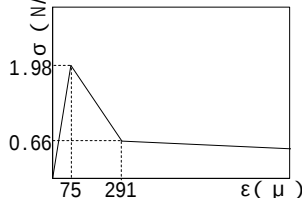


図 - 2 解析モデル
(1/4 モデル)



(a) 圧縮側



(b) 引張側²⁾

図 - 3 コンクリート構成則

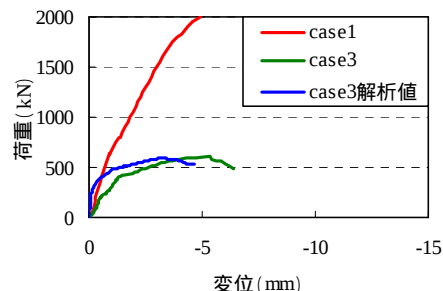


図 - 4 荷重 - 変位関係

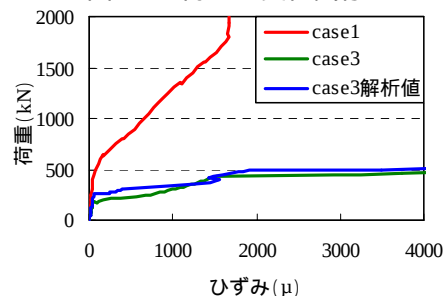
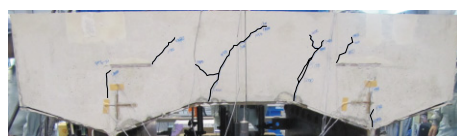


図 - 5 荷重 - ひずみ関係



(a) case1



(b) case3

写真 - 1 破壊状況

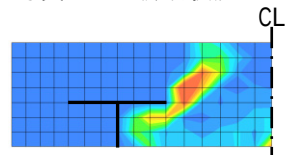


図 - 6 主ひずみコンター図
(case3)

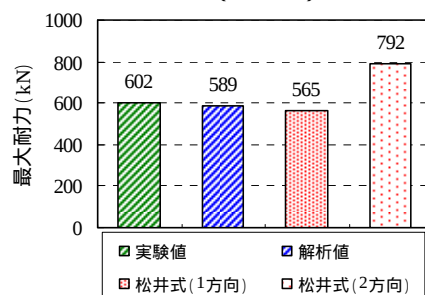


図 - 7 最大耐力 (case3)