

大型航空機を対象とした合成床版の押抜きせん断耐力

成田国際空港 (株) 正会員 ○金子雅廣 日本工営 (株) 正会員 友田富雄
 九州大学大学院 正会員 山口浩平 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

1. 目的

空港拡張工事の際、既設構造物に影響を与えない拡張方法や大型航空機荷重 LA-0 に対する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を実現でき、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。今回の床版設計においては、道路橋における設計荷重の約 4 倍である輪荷重 1 輪あたり 390kN (以下、設計荷重) を対象とし、床版厚は 320mm と通常の道路橋の 2 倍程度である。疲労耐久性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 という大きな輪荷重が作用した際には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、疲労設計の前提となる押抜きせん断耐力の確保、各部位の応力性状、底鋼板の効果について検討した。さらに FEM 解析により、本実験の妥当性の確認および床版コンクリート内部のひび割れなどを検討した。

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。供試体は、case1 (実橋梁タイプ)、case2 (コンクリート圧縮強度、鉄筋量低減) および case3 (RC 床版タイプ) であり、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および鉄筋の力学特性を表-2、表-3 に示す。荷重装置は荷重能力 2000kN の門型荷重装置を用い、下フランジをアンカーボルトで固定し、油圧ジャッキにより、LA-0 の接地面積 (315×457mm) を荷重した。また、多数の実験によって適用性が確認されている松井式で押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。

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

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

a, b : 主鉄筋方向、配力鉄筋方向の荷重板辺長(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、配力鉄筋からのかぶり厚さ(cm), τ_{s,max}, σ_{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)

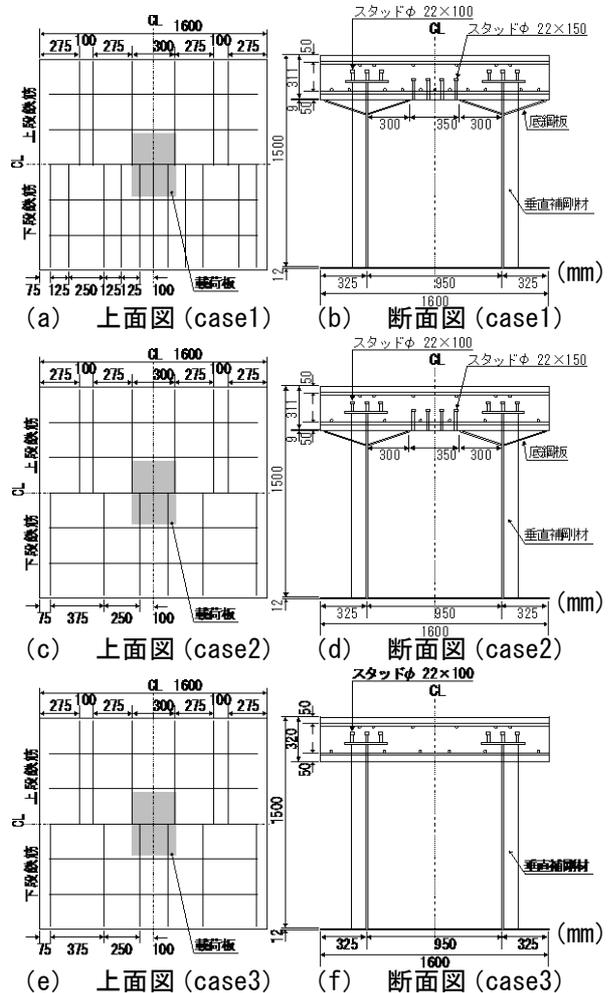


図-1 供試体概略図

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 (mm)
case1	36.0	D19@250	D19@125	1 : 3	9
case2	18.0	D13@250	D13@250		
case3	18.0			-	-

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
case2	20.8	2.31	5.67	2.44	25.0	0.18
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, 押抜きせん断耐力, 航空機荷重, FEM 解析

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

3. FEM 解析

解析プログラムは DIANA ver.9.4 を用いた。コンクリートは 8 節点ソリッド要素および 6 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，荷荷条件は荷荷板面積に等分布荷荷とした。また，case1, case2 において底鋼板は本来型枠であり，ハンチ部にはスタッドがないため解析上では，底鋼板のスタッドの無い部分に付着-すべり関係を入力した。また鉄筋および鋼材は，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。コンクリートは，圧縮域は材料試験の結果を用い，引張域は引張強度までは線形で増加するものとし，引張軟化域は切り欠きはりの 3 点曲げ試験結果を用いた逆解析結果より求めた引張軟化特性¹⁾を用いて算出した。

4. 結果および考察

図-2 に供試体の最大耐力を示す。同表より，case3 は実験値 602kN，解析値 589kN，松井式 565kN といずれも概ね一致していることがわかる。case2 において実験値 1131kN，解析値 861kN，松井式 811kN と実験値が十分安全側に評価できていることがわかる。また，case2 の実験値は case3 の 2 倍程度となり，ハンチ部の効果が確認できた。case1 において実験値は，荷荷能力 2000kN に達しても供試体が破壊に至らなかった。しかし，設計荷重の 5 倍以上と十分安全側に評価できていることが確認できた。

図-3 に各ひずみ測定箇所の断面図(床版直角方向にも中央)を図-4 にひずみ分布(コンクリート下面のひび割れ前後，case1)を示す。同図よりコンクリート下面のひび割れ発生前までは，応力分布が線形であり底鋼板は合成床版として機能している。しかし，ひび割れ発生後は底鋼板のひずみが下段主鉄筋と比較し極端に小さくなっていることが確認できる。

したがって，底鋼板は終局時には合成床版における構造物としてほぼ機能していないと考えられ，松井式の耐力評価において考慮しないことが妥当だと考えられる。

図-5 に解析終了時および実験終了時のひび割れ分布を示す。いずれのケースの実験値および解析値においても，荷荷板端部から約 45° の角度で斜めひび割れが発生し，その後上フランジに到達している。これは，松井式で想定している破壊面角度 45° と概ね一致していることを確認できた。しかし，case1 において同図 (b) より，2000kN に達しても供試体に著しいひび割れは発生しておらず，特に設計荷重時には，目視によるひび割れは発生していなかった。

5. 結論

本研究では，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) 底鋼板は，コンクリート下面のひび割れ発生前までは構造物として合成挙動し，脆性的な破壊防止に有効であったが，ひび割れ発生後は荷重をほぼ負担しておらず，耐力評価においてはこの効果を考慮すべきでないことが確認できた。3) 破壊面角度は実験および解析において松井式で想定している 45° となり，最大耐力も松井式と概ね一致し安全側に評価できたことから，本実験のような床版厚の大きな合成床版においても，十分評価可能であ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

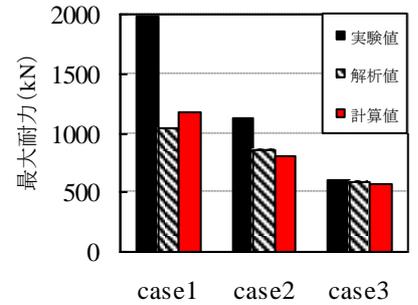


図-2 最大耐力



図-3 ひずみ測定箇所

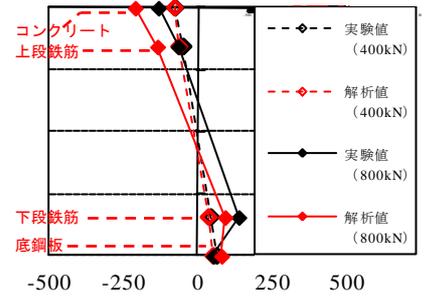
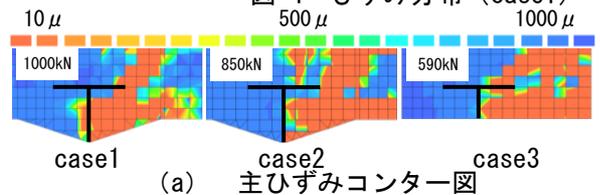


図-4 ひずみ分布 (case1)



(a) 主ひずみコンター図



(b) ひび割れ状況
図-5 ひび割れ分布