

東京国際空港D滑走路 棧橋部プレキャスト床版間詰部の性能確認実験

鹿島建設(株)技術研究所 正会員 工修 ○一宮 利通
 国土交通省東京空港整備事務所 野口 孝俊
 国土交通省東京空港整備事務所 上原 正光
 鹿島建設(株)技術研究所 正会員 工修 平 陽兵

1. はじめに

東京国際空港(羽田空港)D滑走路の棧橋部は、海底地盤に打設した鋼管杭、鋼製ジャケットおよびジャケットの鋼桁上に配置されたコンクリート床版から構成される(図-1)。このうち、滑走路や誘導路を含む棧橋部約51万 m^2 のうち中央部の約31万 m^2 は、工場製作によるプレキャスト床版(標準寸法:約3.3m \times 6.6m)を鋼桁上に設置し、プレキャスト床版間の間詰部を現場打設する連続コンクリート床版構造である(図-2)。プレキャスト床版は2方向にプレストレスを導入する構造であり、間詰部の鉄筋継手としては、滑走路平行方向の間詰部ではループ継手、滑走路直角方向の間詰部では重ね継手を採用している。また、滑走路平行方向の鋼桁の上フランジにはスタッドジベルが配置されており、プレキャスト床版と鋼桁はこのスタッドジベルと間詰コンクリートを介して一体化される。

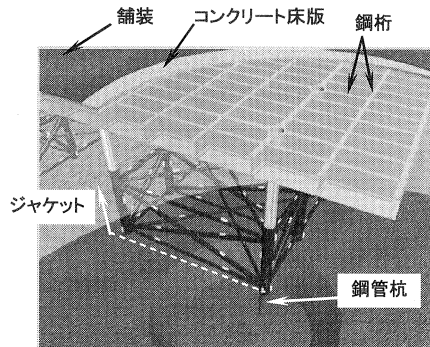


図-1 棧橋部の構造

プレキャスト床版はプレストレストコンクリート(PC)構造であるのに対し、PCで一体化するレグ頭補強部以外の間詰部は鉄筋コンクリート(RC)構造であるため、プレキャスト床版と現場打設される間詰めコンクリートとの境界部にひび割れが集中することが懸念された。そこで、航空機荷重が繰返し載荷されることによって間詰部に発生するひび割れの幅や伸展状況を確認すること、ならびに疲労破壊に至らないことを確認するため、プレキャスト床版と間詰部を取り出した実物大部分試験体を製作し、繰返し載荷実験を実施した。また、繰返し載荷実験後に静的載荷実験を行い、残存耐力を確認した。

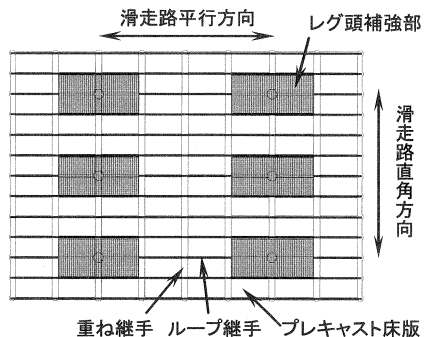


図-2 プレキャスト床版配置図

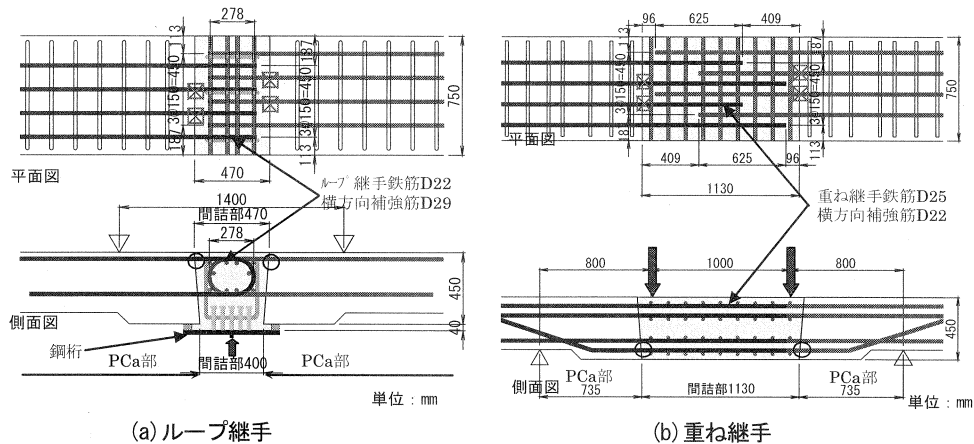
2. 実験概要

(1) 試験体

表-1に実験ケースを、図-3に試験体の概要を示す。試験体数は各継手1体ずつとした。いずれの試験体も間詰部を試験体の中心にして両側にプレキャスト床版を配置した実物大の部分試験体である。試験体の幅は750mmとし、プレキャスト床版の試験体軸方向には実構造物と同様にプレストレスを導入した(図-3中には省略)。ループ継手鉄筋はD22を使用し、継手部分には床版を支える鋼桁フランジとスタッドジベルを配置し、鋼桁フランジを模擬した鋼板介して載荷する構造とした。重ね継手鉄筋はD25を4段配置し、幅方向に千鳥配置とした。試験体軸直角方向のプレストレスは省略し、試験体軸直角方向に配置した鉄筋の端部は試験体の側面においてナットで定着した。

表-1 実験ケース

試験体	コンクリート				主鉄筋			載荷荷重 (kN)	鉄筋 応力度 (N/mm ²)
	プレキャスト部		間詰部		仕様	降伏強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)		
	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)					
ループ継手	60.9	37.3	56.9	34.4	SD345-D22	391	184	104~395	37~142
重ね継手	66.0	37.8	54.4	33.4	SD345-D25	388	187	334~404	109~132



△は実験における支承の位置, 矢印は載荷位置

図-3 試験体の概要

(2) 載荷方法および計測方法

載荷方法は実構造物で生じる応力度を再現するために、ループ継手試験体では鋼桁を介した1点載荷として上縁が引張となるように、また、重ね継手試験体は下縁が引張となる2点載荷とした。ループ継手試験体ではせん断スパン長を0.7mとして実構造物におけるせん断スパン比を再現したが、重ね継手試験体では、試験装置の制約から繰返し載荷実験でせん断スパン長を0.8m、静的載荷実験でせん断スパン長2mとし、実構造物におけるせん断スパン比よりも小さく設定した。

繰返し載荷実験における載荷荷重の最大値は、プレキャスト床版と間詰部との境界面における最外縁引張鉄筋(図-3の丸印)の応力度に着目し、自重、温度荷重および航空機荷重が作用する場合の鉄筋応力度を再現した。また、荷重振幅は航空機荷重によって生じる鉄筋の応力振幅が最大となる載荷パターンに相当する値とした。載荷は荷重制御で行い、繰返し載荷回数は設計供用期間(100年)に航空機が走行する回数と等価な回数約100万回に対し、その2倍となる200万回とした。

本実験の着目点である境界部のひび割れ幅は、境界面をまたぐように設置したパイ形変位計で計測した。

3. 実験結果および考察

(1) ひび割れ幅

図-4にひび割れ図を示す。ループ継手では床版高さより間詰部の幅が短いことから境界部にひび割れが集中して生じた。一方、重ね継手では境界部のひび割れが主ではあるが、間詰部に

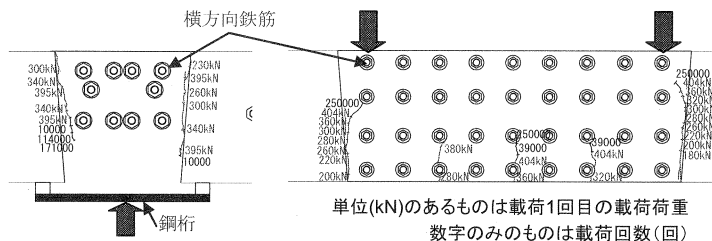


図-4 ひび割れ図

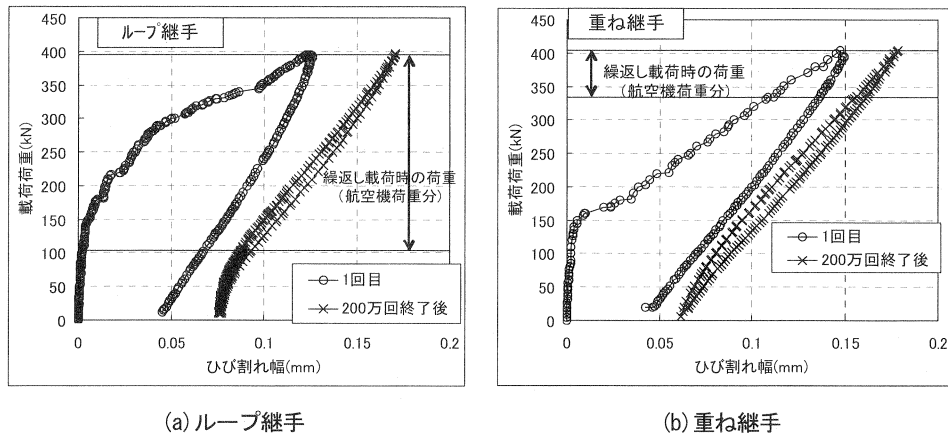
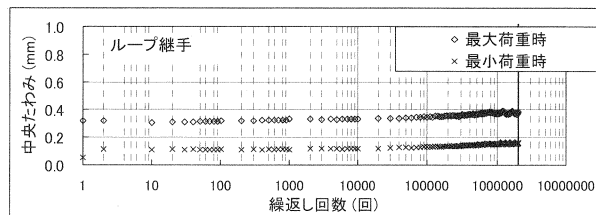


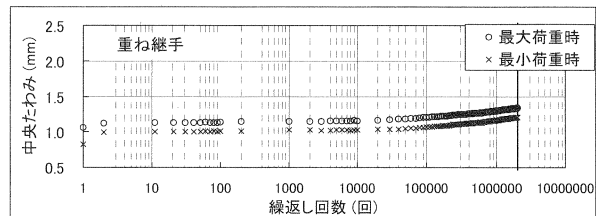
図-5 載荷荷重とひび割れ幅の関係

も分散してひび割れが発生した。両試験体とも載荷1回目に生じたひび割れが繰返し載荷によって若干伸展したものの、新たなひび割れは観察されなかった。

各継手について、1回目および200万回繰返しを終えた後の載荷における荷重とひび割れ幅の関係を図-5に示す。なお、ひび割れ幅は図-3に☒で示す界面で計測しその平均を示している。いずれの試験体でも載荷荷重150kN程度でひび割れ幅が大きくなり始め、載荷1回目における最大ひび割れ幅は約0.13mm(ループ継手)と約0.15mm(重ね継手)であった。荷重を除荷するとひび割れは閉じ、いずれも0.04mm程度の残留ひび割れ幅であった。



(a) ループ継手



(b) 重ね継手

図-6 たわみと繰返し回数の関係

土木学会コンクリート標準示方書¹⁾に示されるひび割れ幅算定式を式(1)に示す。

$$w = 1.1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \cdot \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right] \quad \text{ここに、} \quad k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7, \quad k_3 = \frac{5(n+2)}{7n+8} \quad (1)$$

w はひび割れ幅(mm)、 k_1 は鋼材形状の影響を表す係数(異形鉄筋では1.0)、 k_2 はコンクリートの品質の影響を表す係数、 f'_c はコンクリートの圧縮強度(N/mm²)、 k_3 は引張鋼材の段数の影響を表す係数、 n は引張鋼材の段数、 c はかぶり(mm)、 c_s は鋼材の中心間隔(mm)、 ϕ は鋼材径(mm)、 σ_{se} は鉄筋応力度の増加量(N/mm²)、 E_s は鉄筋のヤング係数(N/mm²)、 ε'_{csd} はコンクリートの収縮等によるひび割れ幅の増加を表す数値である。

式(1)により算定したひび割れ幅はループ継手試験体で0.15mm(実測:0.13mm)、重ね継手試験体で0.22mm(実測:0.15mm)となった。両試験体とも1回目の載荷時におけるひび割れ幅は式(1)による予測値よりも小さくなっており、本構造においても土木学会のひび割れ幅算定式で安全側にひび割れ幅を推定することができるという。

設計供用期間の2倍に相当する200万回の繰返し載荷後では、最大で約0.17mm(ループ継手)と約0.18mm(重ね継手)であった。また、繰返し載荷によって0.03~0.04mmと若干増加しているがいずれも0.2mmより

も小さい値であり、急激な増加はなかった。

(2) たわみ

図-6に各継手の試験体中央のたわみと繰返し回数の関係を示す。表-1に示す継手鉄筋の応力度を再現する繰返し荷重を行った結果、いずれの試験体も200万回終了後までたわみが急激に増加することはなく、両継手構造が航空機荷重による繰返し荷重によっても疲労破壊に至らないことを確認した。

(3) 残存耐力

図-7に繰返し荷重実験終了後、静的荷重実験を行った結果および解析で求めた計算耐力を示す。解析は、断面をファイバー要素に分割し、平面保持を仮定して断面内の力の釣り合いにより求めた。コンクリートと鉄筋の応力ひずみ曲線は、実験時の強度を用いて土木学会コンクリート標準示方書³⁾に従ってモデル化し、コンクリートが終局ひずみに達したときの荷重を計算耐力とした。

ループ継手試験体ではプレキャスト床版と間詰の境界部の健全性を観察するために、計算耐力を2割程度超えたところで荷重を終了した。また、重ね継手試験体については、計算耐力に達したところで試験体の変形が試験装置の可動域の限界に達して荷重を終了した。両試験体とも載荷荷重は計算耐力を確保しており、200万回の繰返し荷重後も耐力の低下はなかったと考えられる。

(4) 境界部の健全性

ループ継手試験体ではせん断力が卓越するため、プレキャスト床版と間詰の境界部をコアボーリングによって抜き取り、健全性を確認した。写真-1に境界部のコアを示す。試験体表面では境界部に生じたひび割れが間詰部に進展した箇所があったが、試験体内部では境界面に沿ってひび割れが進展していた。しかし、せん断力によって境界面にずれが生じて損傷した形跡は無く、200万回の繰返し荷重後も境界部はせん断伝達耐力を確保していることが確認された。

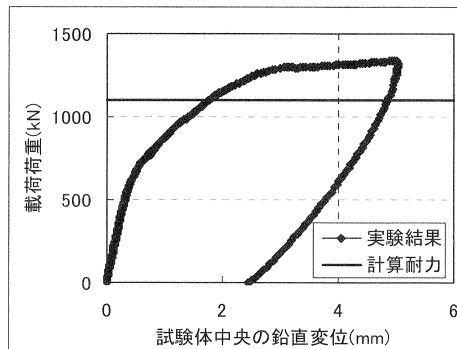
4. まとめ

間詰部で連結されたPCプレキャスト床版構造に航空機荷重が作用した場合を再現した繰返し荷重実験を行った結果、鉄筋応力度を制限値として適切に配筋することにより、間詰部のひび割れ幅を制御できること、土木学会のひび割れ幅算定式で評価できること、繰返し荷重に対しても安全性を有していることが確認できた。

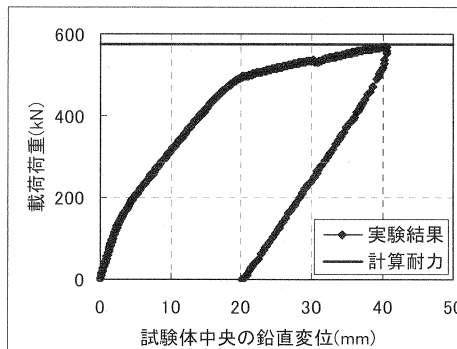
なお、本報告は東京国際空港D滑走路建設工事の設計業務の一環として実施した成果の一部である。

<参考文献>

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [2002年制定] 構造性能照査編，2002



(a) ループ継手



(b) 重ね継手

図-7 載荷荷重と鉛直変位の関係

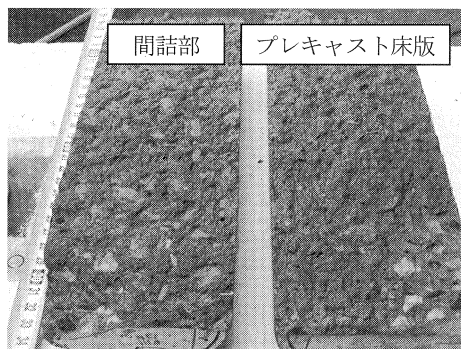


写真-1 境界部のコア抜きによる観察結果