

高強度RCプレキャスト版舗装の空港への適用性

八谷好高¹・松崎和博²・伊藤彰彦³・山脇宏成⁴・田中秀樹⁵・横尾彰彦⁶

¹ 正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所（〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1）

² 学生会員 国土交通省国土技術政策総合研究所（〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1）

³ 正会員 株式会社ガイアートクマガイ技術研究所（〒300-2445 筑波郡谷和原村小絹216-1）

⁴ 正会員 工修 株式会社ガイアートクマガイ技術研究所（〒300-2445 筑波郡谷和原村小絹216-1）

⁵ 正会員 ジオスター株式会社（〒113-0024 文京区西片1-17-8）

⁶ 正会員 ジオスター株式会社（〒113-0024 文京区西片1-17-8）

近年の航空機の大型化ならびに運行回数の増加により、空港ではコンクリート舗装を採用せざるを得ないことも多い。その場合、施設の閉鎖をほとんど必要とせずに工事可能な方法として強度を高めたRCプレキャスト版を用いるとともに、コッター式継手による目地構造を採用した、RCプレキャスト版舗装に関する研究開発を行った。製作した試験舗装に対して10,000回の繰返し走行載荷試験を行った結果、コッター式継手は耐久性が十分であること、RCプレキャスト版にはひび割れが発生したものの、その幅は小さく、耐久性は十分であることが確認された。これら一連の試験研究に基づき、高強度コンクリートを用いたRCプレキャスト版舗装の空港への適用性を明らかにした。

Key Words: RC precast slab pavement, cotter joint, airport, experimental pavement, structural design

1. はじめに

航空機が大型化するとともに交通量が増加していることから、供用中の空港基本施設である舗装では補修がしばしば必要となり、その工事においては急速施工性が求められる。これは、空港が埋立地や軟弱地盤上に建設される等、地盤沈下に起因する補修が必要となる場合も同様の状況である。

このような状況に対処できるものとしては、空港エプロンで一般的に用いられているコンクリート舗装の場合、現状ではプレキャストプレストレストコンクリート（PPC）版を用いた補修工法が多く用いられている¹⁾。この補修工法は、工場製作のPPC版を現場に運搬して路盤上に敷設したのち、隣り合う版を連結するという手順になっている。PPC版の連結には、供用開始後破損が生じた場合にその版のみを交換できるように、丸鋼を円弧状に加工したホーン鉄筋による方法、いわゆるホーンジョイントが用いられている。しかし、この方法によるPPC版舗装にはポンピング等連結方法に起因すると考えられる破損が見られるようになってきて、最近では緊張材を2枚の隣り合う版をまたいで配置して連結部に圧縮力を導入して結合する圧縮ジョイントも開発されている²⁾。

PPC版舗装は多くの空港で採用され、特に圧縮ジョイントによれば供用後も安定した挙動を示すことが確認されているが、その一方で、建設ならびに補修費用の低減が望まれていた。そこで、製作の容易なコンクリート版を用いるとともに、荷重伝達機能に優れ、しかも施工の容易な連結方式を有する補修工法について研究を行った。具体的には、コンクリート版として高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート版（高強度RC版）を用い、それらの連結方法としてコッター式継手を用いるものである。この工法は、道路で一部採用された事例がある³⁾ことから、空港への適用についても可能性が高いと判断した。

本研究においては、空港舗装を対象として設計した高強度RCプレキャスト版舗装の試験施工を実施し、航空機荷重の繰返し走行載荷試験を始めとする一連の試験により、版構造ならびに継手の性能確認を行った。ここでは、その過程を記述し、実用に供するために必要となるいくつかの改善点を示した上で、空港への適用性についてまとめた。

2. RCプレキャスト版舗装

(1) RCプレキャスト版舗装の概要

RCプレキャスト版の構造を写真-1に示す。RCプレキャスト版にはその強度・剛性を高めるため、高強度コンクリートと圧縮鉄筋・引張鉄筋を部分的に連結させたラチストラス鉄筋を使用している。これらを路盤上に敷き並べ、写真-2に示すコッター式継手により連結する。

RCプレキャスト版を用いた舗装の補修は、現在まで道路においていくつかの適用事例がある³⁾。これに基づき、RCプレキャスト版舗装の施工方法の概要を示す。

まず、既設コンクリート版を撤去した後、既設舗装との接合部処理としてタイバー設置位置の削孔を行うとともに、セメント安定処理路盤を整正する。

この路盤上にビニールシートを敷いてから、搬入したRCプレキャスト版を所定の位置に敷設し、既設舗装や隣接する版との間に段差が生じないように、また平面的にもRCプレキャスト版の寸法誤差によるずれが蓄積しないように、目地幅を最大7mmとして設置位置の調整を行った。そして、継手の仮締結後、RCプレキャスト版と路盤との間の隙間ならびにRC版間の隙間にグラウト材を充填した。

目地用グラウト材が硬化後、コッター式継手のH型金物の固定ボルトを所定のトルクで締付けることによって、RCプレキャスト版を相互に連結した。その後、コッター式継手部とグラウト注入孔には樹脂製キャップを取り付けた。

(2) 空港舗装への適用性

RCプレキャスト版舗装の空港への適用性を明らかにするために次の点について検討した。

a) RCプレキャスト版

RCプレキャスト版は、高強度コンクリートを使用して鉄筋を版上下二段に配置した鉄筋コンクリート版である。このRCプレキャスト版の設計法は空港舗装構造設計要領に記載されているPPC版に関する方法⁴⁾を基本的には踏襲すればよいと考えた。なお、路盤以下の構造の健全度については、航空機荷重が作用したときのたわみに注目して検討すればよいと考えた⁵⁾。

b) 継手構造

コッター式継手を用いてRCプレキャスト版を相互に連結することにより、弱点である目地部の剛性を上げることが可能になる。コッター式継手の構造はくさび状のH型金物を、あらかじめRCプレキャスト版に設置してあるC型金物内に圧入し、継手面に圧縮力を導入するものである。H型金物はボルトで固定することにより、荷重が繰返し作用した場合でも抜け出さないような構造となっている。このボルトならびにH型金物を取り外せば、RC

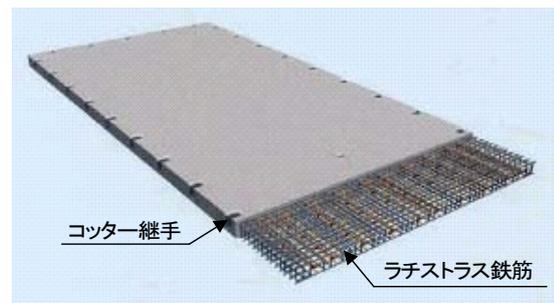


写真-1 高強度RCプレキャスト版の構造



写真-2 コッター式継手

プレキャスト版の部分交換も可能である。

コッター式継手はこれによる荷重伝達機構の確認をした上で設計することが必要となる。その方法としては、これが無筋コンクリート舗装に用いられている一般的なスリッパーと同等と考えて、空港舗装構造設計要領に記載されているスリッパーのものを踏襲すればよいものと考えた。また、この施工管理方法についても検討する必要がある。

c) 長大ブロック化に伴う温度応力

RCプレキャスト版舗装では、RCプレキャスト版を相互に連結して1枚の大きなブロックとし、その周囲の舗装との接合部には枕版を施工するといった措置が必要になる。空港では、道路に比較して、ブロックが必然的に大きくなることから、温度変化に起因する応力度の検討においてはこの点を考える必要がある。

これらについては、小型供試体を用いた試験による基本的な検討⁶⁾を別途実施してから、試験舗装によって詳細に研究することとした。具体的には、実大規模に近い大きさの試験舗装を作成し、現地の地下水位が高い場合を想定して、RCプレキャスト版が滞水している状況で航空機荷重の繰返し走行を実施した。

3. 試験計画と内容

空港舗装を対象としたRCプレキャスト版舗装を製作し、航空機の主脚荷重を繰返し走行させたときの挙動を観測することによって、RCプレキャスト版に適用した設計

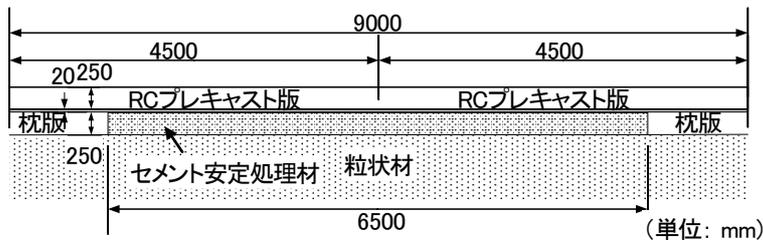


図-1 試験舗装の断面図

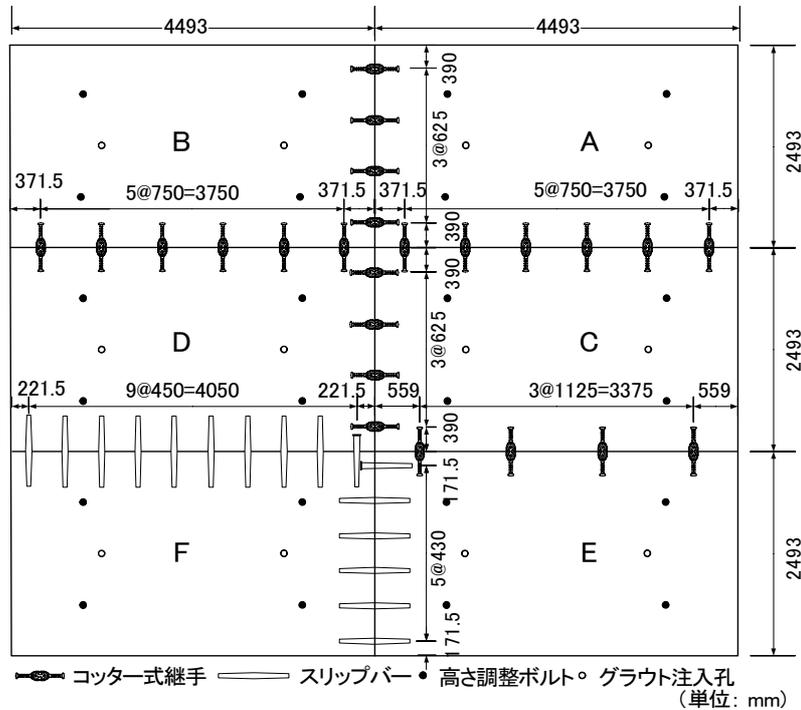


図-2 試験舗装の平面図

表-1 試験に用いた目地構造

目地	荷重伝達装置	間隔 (mm)	トルク (kN・m)
A-C版	コッター式継手	750	200
B-D版	コッター式継手	750	400
C-E版	コッター式継手	1,125	400
D-F版	スリッバー	450	-

方法、コッター式継手の耐力ならびに設計方法について検討した。

(1) 試験計画

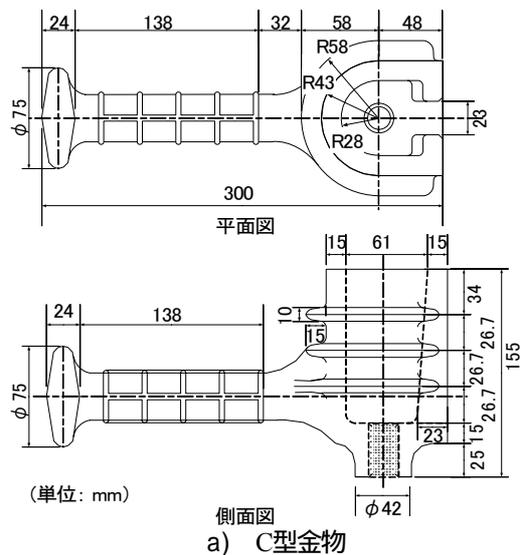
RCプレキャスト版をコッター式継手により連結した構造を有するRCプレキャスト版舗装を国土技術政策総合研究所原型荷重実験槽内に製作した。これらは、設計航空機荷重をB747-400で代表されるLA-1、設計交通量を20,000カバレッジとして、上記のようにPPC版舗装の構造設計法に従って設計された。

試験舗装は、図-1に示すように、250mm厚のセメント安定処理路盤上に250mm厚のRCプレキャスト版が敷設

された構造となっている。また、平面的にみれば、図-2に示すように、RCプレキャスト版が6枚並べられて、種々の目地形式により相互に連結されている。

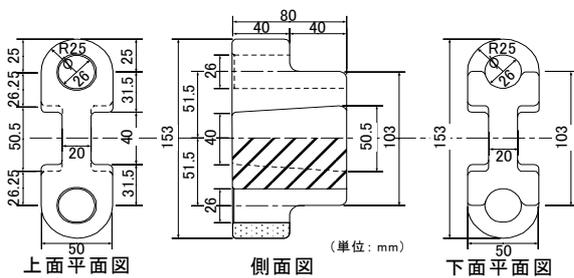
6枚のRCプレキャスト版の長辺部分の4箇所の接合部には、表-1に示す4種類の目地構造を設けた。すなわち、コッター式継手3箇所、水平ジョイント1箇所である。前者では締付けトルクを2種類、継手設置間隔を2種類とし、後者では従来より使用されているスリッバーを用いている。トルクについてはボルトの許容引張応力度の30% (A-C版)と60% (B-D版とC-E版)となる値を用いている。

RCプレキャスト版は、1枚の寸法が4,493mm × 2,493mm × 250mmで、工場にて製作された。コンクリートの設計基準強度は60N/mm²であり、鉄筋はD13, D16のものをそれぞれ、上、下側に75mm間隔で配置した複鉄筋とした (SD345)。これらは、版厚が従来より用いられているPPC版と同等となるよう、製造の容易さも考慮に入れて決定された。コッター式継手については、その詳細図が図-3に示すようなもので、C型、H型金物の引張強度は、それぞれ900, 500N/mm²となっている。



(単位: mm)

a) C型金物



(単位: mm)

b) H型金物

図-3 コッター式継手の詳細図

この舗装に対して、自走式走行載荷試験装置を用いて航空機脚荷重の繰返し走行載荷を実施した。繰返し走行載荷試験中の所定の走行回数時に、静的載荷試験、FWD載荷試験、表面性状調査を行った。なお、載荷試験に先立ち、コッター式継手の固定用ボルトに導入する最適トルク量について検討するために、ボルトの締付け試験を行い、RCプレキャスト版の目地部とコッター式継手のH型金物に生じるひずみを測定した。

(2) 試験舗装の製作

試験舗装の施工手順を図-4に示す。

まず、既設コンクリート版を撤去後、既設路盤を枕版が入る深さ（舗装面から約520mm）まで掘り下げた後に、セメント安定処理路盤を厚さが250mmになるように施工した。翌日に測定した支持力係数（ K_{30} ）は307MN/m³であった。

次に、RCプレキャスト版の自由縁部のうち走行載荷試験装置が走行する範囲には枕版を施工した。

RCプレキャスト版は、路盤上にビニールシートを敷いてから6枚敷設した。その高さならびに平面的位置を調節した後、RCプレキャスト版同士をコッター式継手で仮締結し、路盤との間に生じた隙間を埋めるために裏込め用グラウト材を注入した。また、並行してRCプレキャスト版同士に生じている隙間にも目地用グラウト材を充填

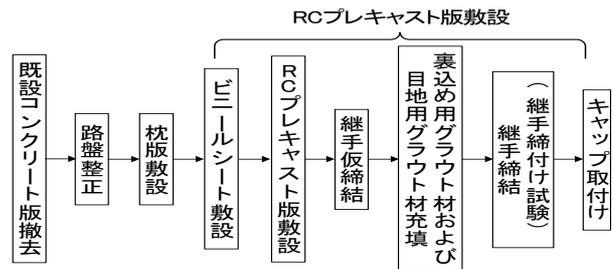


図-4 施工手順

した。これらのグラウト材が硬化後、トルクレンチを用いてコッター式継手のH型金物の固定用ボルトを締め付けた。そして、コッター式継手部の凹部、吊り治具・グラウト注入兼用孔を樹脂製のキャップにより塞いだ。

(3) 試験内容

この試験舗装に対して、コッター式継手の最適締付力を決定するための継手締付け試験と、RCプレキャスト版舗装の航空機荷重に対する挙動を調べるための舗装載荷試験を実施した。

a) 継手締付け試験

路盤上にRCプレキャスト版を敷設し、版同士の隙間を目地用グラウト材で充填した後、継手締付け試験を実施した。具体的には、RCプレキャスト版を接合するコッター式継手の固定用ボルトにトルクを導入することにより、RCプレキャスト版の目地部付近の表面、H型金物ならびに固定用ボルトに生ずるひずみを測定した。

この試験は、RCプレキャスト版長辺中央付近のコッター式継手において実施した。締付けトルクは、トルクレンチを用いて、50kN・mずつ増加させて最大400kN・mまで8段階に分けて導入された（ただし、A-C版では250kN・mまで）。

b) 舗装載荷試験

舗装載荷試験は、航空機主脚を用いた静的載荷試験、Falling Weight Deflectometer (FWD)を用いたFWD載荷試験、航空機主脚を繰返し走行させる走行載荷試験から成る。地下水位はRCプレキャスト版の厚さの半分的位置（舗装表面から125mm下方）となるように調整した。

i) 静的載荷試験

静的載荷試験では、4箇所の目地部において、それぞれの連結装置（コッター式継手またはスリップバー）の間の舗装面に直径450mmの鋼製板を置き、これを介して荷重を静的に載荷した（鋼製板の下には板全面が舗装と接触するように、硬質ゴムを敷いている）。このときの荷重は、最大276kNまで段階的に増加させた。なお、試験実施時期は、繰返し走行載荷試験前、3,000回走行後、10,000回走行後の3回とした。



写真-3 走行載荷試験の状況

計測項目は、コンクリート版のたわみ、目地幅（コンクリート版上・下縁の水平変位）、ひずみ（コンクリート版表面、鉄筋、コッター式継手のH型金物・固定用ボルト）である。

ii)FWD載荷試験

静的載荷試験と同一の位置において、FWDを用いた載荷試験を行った。このときの衝撃荷重は100, 150, 200, 250kNの4段階とし、走行前、1,000回走行後、3,000回走行後、5,000回走行後、10,000回走行後の5回測定を行った。

iii)走行載荷試験

走行載荷試験は、自走式走行載荷試験装置（B747型航空機の主脚）を、長辺方向目地近傍の2走行線上を10,000回（5,000往復）まで走行させた（A-B版とE-F版）。所定の回数時には静的載荷試験、FWD載荷試験ならびにひび割れ状況調査を実施した。なお、走行時速は5km/hとし、荷重は910kNとした。写真-3に走行載荷試験の状況を示す。

4. 試験結果と考察

(1) 継手締付け試験

図-5、図-6に、最終締付けトルク時におけるコッター式継手周辺のコンクリート版表面におけるひずみ分布を示した（それぞれ、A-C版、C-E版）。ひずみは、継手部直上付近で引張となり、継手間では圧縮状態となっている。継手間の圧縮ひずみは中央に向かって減少する傾向にあるが、零となることはなく、コッター式継手の間隔、締付けトルクの差異によらず、平均で 15×10^{-6} 程度である。コンクリートの弾性係数を 35 kN/mm^2 とすると、コンクリート表面に作用している圧縮応力は 0.5 N/mm^2 程度になる。また、継手近傍で生じている引張ひずみの値（絶対値）は圧縮ひずみより大きくなっていることがわかる。

B-D版間の継手締付け試験結果として、導入トルクの増加に伴ってコンクリート表面ひずみが増加する状況を

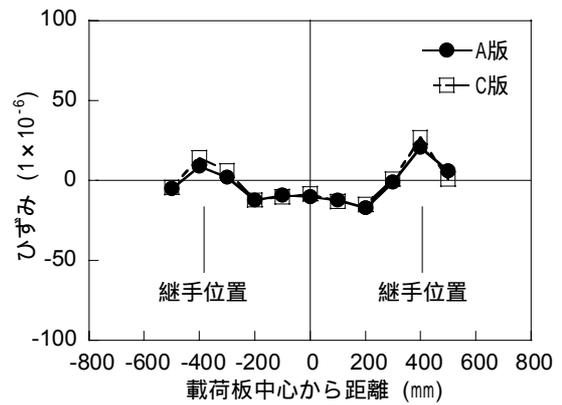


図-5 A-C版継手コンクリート版表面ひずみ

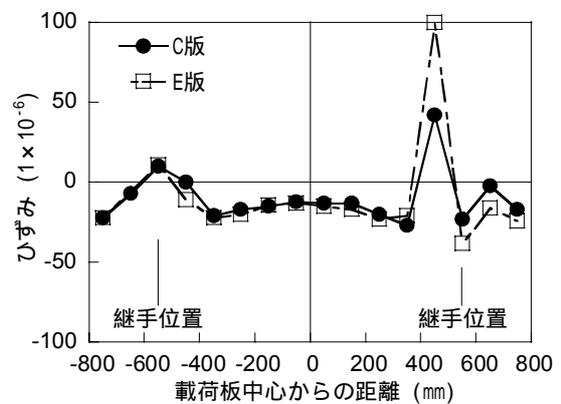


図-6 C-E版継手コンクリート版表面ひずみ

図-7にまとめた。導入トルクが $150 \text{ kN}\cdot\text{m}$ に到達するまではひずみは急激に増加するものの、その後の増加程度はいく分落ち着いたものとなっている。

継手近傍で発生している引張ひずみは、最大 20×10^{-6} 程度であり、コンクリートの弾性係数を 35 kN/mm^2 とすると 0.7 N/mm^2 の引張応力がコンクリート表面に生じてことになる。この点を検証すべく、アンカー直上の引張ひずみについて有限要素法を用いて解析を行った。この解析では、C型金物を含む目地部を図-8に示すようにモデル化し、荷重としてH型金物の断面積（ $20 \times 80 = 1,600 \text{ mm}^2$ ）にその許容応力度（ 190 N/mm^2 ）を乗じた、 304 kN を作用させた。荷重作用位置はH型金物の位置に相当する 80 mm の範囲とした。なお、コンクリート、H型金物の弾性係数は、それぞれ $35, 170 \text{ kN/mm}^2$ である。その結果、計算値自体は実測値より小さいが、最大主応力として 0.19 N/mm^2 （引張）が発生していることがわかった。

H型金物ひずみから算出した応力と締付けトルクとの関係を図-9に示した。図中にはH型金物の許容引張応力度 σ_s と降伏応力度 σ_y を示してある。上記のように、導

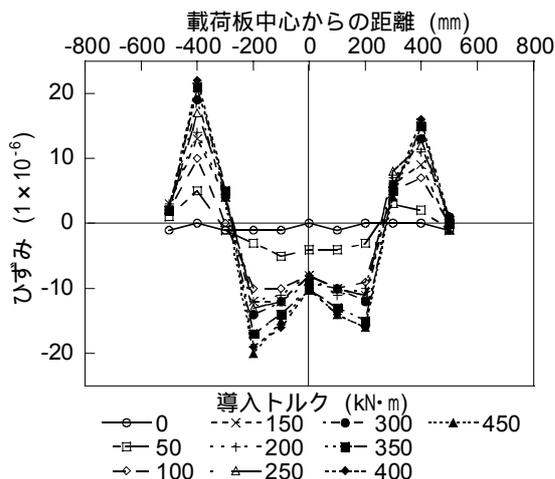


図-7 B-D版継手コンクリート版表面ひずみ

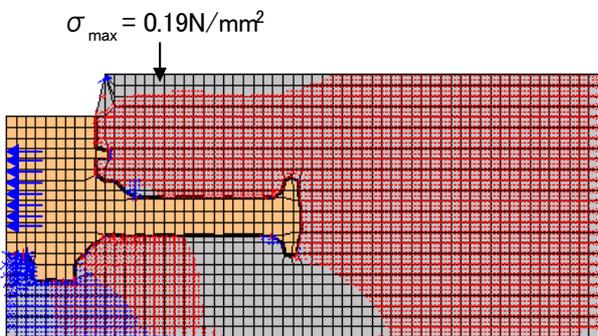


図-8 継手近傍におけるコンクリート版の応力状態

入トルクが250kN·m付近から非線形状がみられたが、これはこの時点で引張応力度が許容引張応力度に達するからであるとわかる。

弾性範囲内でのH型金物の引張応力度とボルトの締付けトルクの関係は次式で表すことができるので、これによればコッター式継手における締付け力はトルク値で管理することが可能となる。

$$T = 1.3 \times 10^3 \sigma_s \quad (1)$$

ここで、

T : トルク (N·mm) ,
 σ_s : H型金物の引張応力度 (N/mm²) .

(2) 舗装載荷試験

RCプレキャスト版舗装に対して実施した繰返し走行載荷試験においては、所定の走行回数時に静的載荷試験とFWD載荷試験を実施したことから、以下ではこれら一連の試験を総合して記述する。

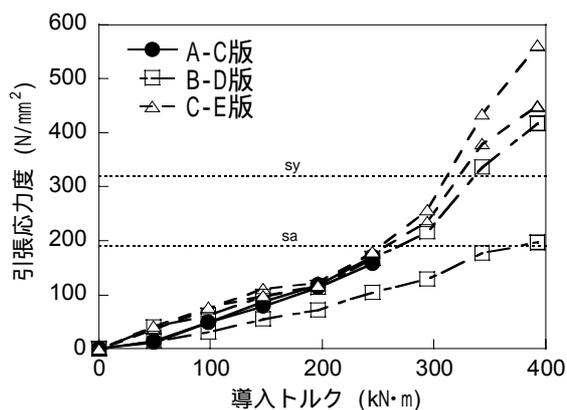


図-9 導入トルクとH型金物引張応力度

a) RCプレキャスト版舗装構造

まず、静的載荷試験の結果として、走行載荷試験前のコンクリート版表面、引張側鉄筋のひずみ分布を図-10、図-11に示す(版長辺方向)。これらの最大ひずみが走行載荷の進行につれて変化する状況を図-12に示した。走行載荷によってひずみが増加するようなことはなく、RCプレキャスト版はこの程度の繰返し載荷に対して十分安全であることがわかる。

荷重の増加に伴ってコンクリート版のひずみは図示したように増加するが、これに基づいて応力を算定し、計算値と比較した。ここでは、計算値として、空港コンクリート舗装の構造設計で用いられているWestergaardの中央部載荷公式によるものを用いた(全断面有効として)。

図-13にその結果を示した。長辺方向の走行載荷試験前(0回)における鉄筋応力がわずかに計算値を上回っているものの、その他については計算値あるいはそれ以下に納まっている。したがって、全体的にみると、コンクリート、鉄筋のいずれにおいても実測値と計算値はほぼ合致していることがわかる。このことから、RCプレキャスト版の構造設計においては、Westergaard式によりコンクリート版縁応力度を計算し、これと全断面有効時の断面係数を用いてコンクリート版に作用する曲げモーメントを算出し、RC理論を適用すればよいとまとめられる。

繰返し走行載荷試験中にRCプレキャスト版表面にひび割れが発生した。このひび割れは、5,000回走行後にはじめて観測されていることから、少なくとも走行3,000回程度まではRCプレキャスト版舗装は健全な状態であったものと推定される。

走行10,000回後における状況を図-14にまとめた。発生したひび割れの傾向を見ると、C版中央部に発生したひび割れを除くと、ほとんどが注入孔、高さ調整孔、コッター式継手の周辺から発生しており、B、D版に集中していることがわかる。また、ひび割れ幅に着目すると、5,000回走行後のひび割れ幅は0.06mm以下、10,000回走行

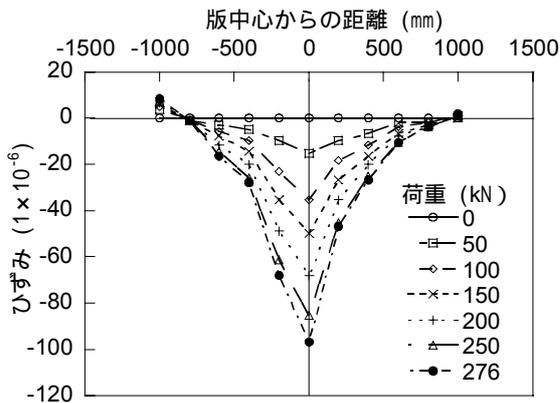


図-10 コンクリート版表面ひずみの分布

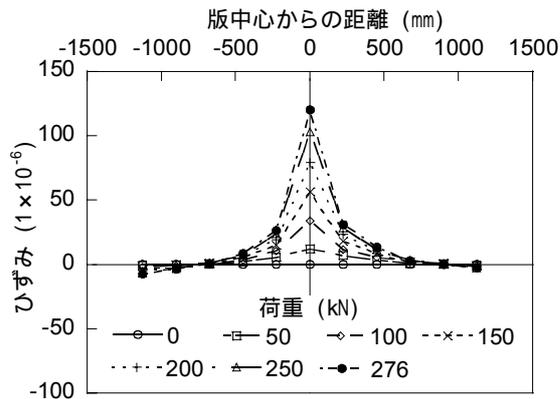


図-11 鉄筋ひずみの分布

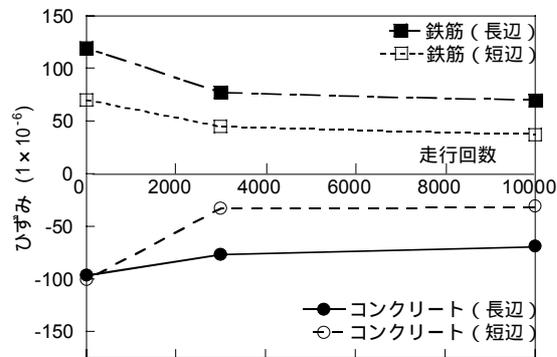
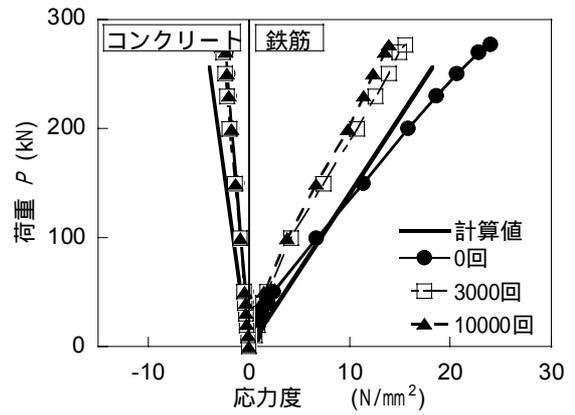


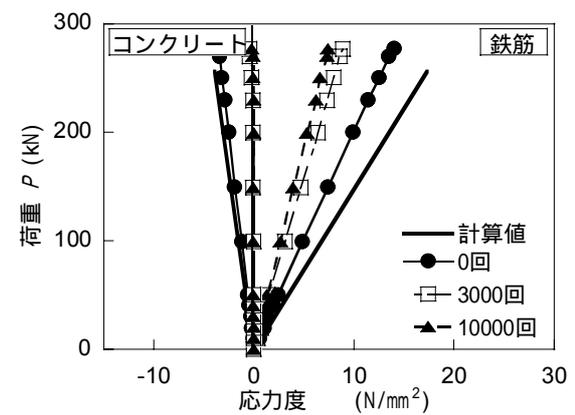
図-12 走行回数と最大ひずみ

後のひび割れ幅は0.08mm以下であり、ひび割れ幅はほとんど拡大していないことがわかった。

荷重が直接加えられないC版中央にひび割れが発生した原因は、コッター式継手により隣接版(C版)に曲げモーメントが伝達された結果、C版中央付近に負の曲げモーメントが発生したためであると推察された。そこで、走行載荷試験時のC版中央部の応力状態を3次元FEMにより解析した。解析モデルとしては3次元ソリッドモデルを用い、路盤上に設置されたコンクリート版がコッター式継手により連結されたものを採用した。このときの荷



a) 長辺方向



b) 短辺方向

図-13 応力度の計算値と実測値の比較

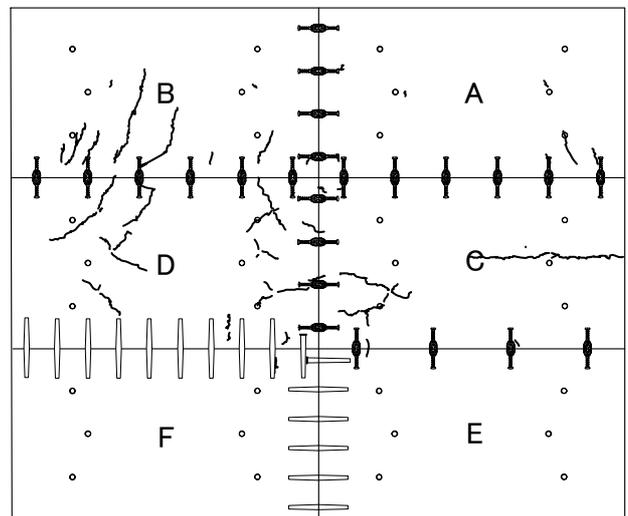


図-14 走行載荷試験中のひび割れ発生状況

重としてはコッターの締付けによる継手荷重とA版端部の走行荷重が加わるものとした。その結果から、C版中央部には負の曲げモーメントが発生し、最大2.0 N/mm²程度の引張応力度となることがわかった(図-15)。これらの応力度は、コンクリートの許容引張応力度以下ではあるが、繰返し載荷によりひび割れが注入孔などの開口

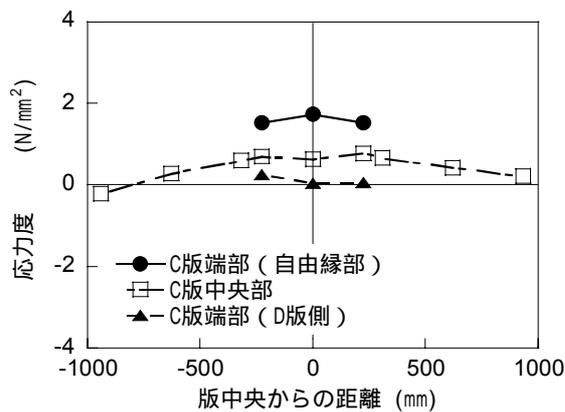


図-15 コンクリート版表面の応力度分布 (短辺方向)

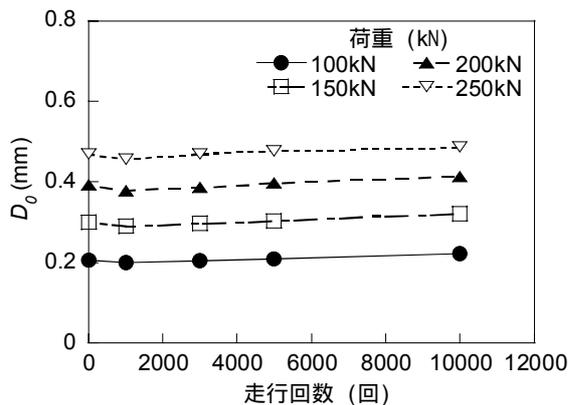


図-16 FWD最大たわみの変化

部から発生して、進展したものと考えられる。

ひび割れが発生することによる版構造の耐久性は、土木学会コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]⁷⁾ に従って照査した。走行載荷試験によって生じた負の曲げモーメントによるRCプレキャスト版表面のひび割れ幅は、最大0.08mmと、鋼材の種類を異形鋼材、鋼材の腐食性環境に対する環境条件を一般環境とした場合の許容ひび割れ幅0.2mmに対し、40%と小さく鋼材の腐食については問題ないものと考えられた。また、正の曲げモーメントによるRCプレキャスト版底面のひび割れについては、C版載荷時における鉄筋の応力度からひび割れ幅を算定することによって照査した。具体的には、この場合のひび割れ幅は、276kN載荷時の鉄筋最大応力度が21N/mm²であることから0.05mmとなり、設計値のひび割れ幅である0.088mmより小さいことから、十分な耐久性を有していると認められた。

FWD載荷試験の結果として、最大たわみ D_0 が走行載荷回数によって変化する状況を図-16に示す。繰返し走行載荷が進行しても最大たわみはほとんど変化することはないことが明らかである。このことから、RCプレキャスト版が水浸した状態であっても、繰返し載荷によって路床・路盤の荷重支持力には変化がないものとまとめられる。

表-2 載荷板中心たわみ

走行回数	A-C版	B-D版	C-E版	D-F版
0	0.891	0.854	0.762	0.693
3,000	0.895	0.933	-	-
10,000	0.945	0.951	1.508	1.105

(単位: mm)

b) 継手構造

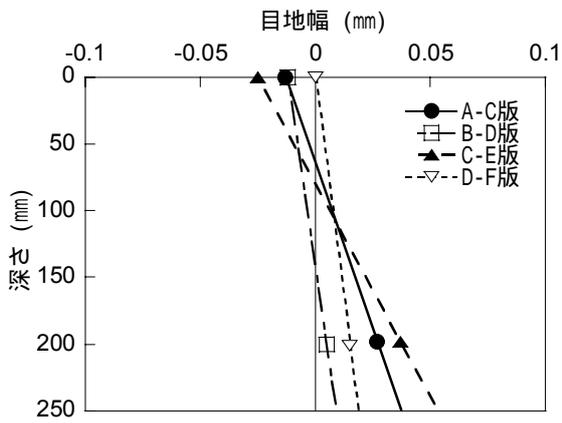
静的載荷試験の結果として、目地部載荷時における最大たわみを表-2にまとめた。各目地部とも、走行載荷の進展につれてたわみは増加しているものの、コッター式継手の設置間隔が短いA-C版とB-D版では、3,000回と10,000回で大きな違いはみられない。これに対して設置間隔の長いC-E版と水平ジョイント(D-F版)では、繰返し走行によってたわみが増加していること、設置間隔の短いコッター式継手と比較してたわみの大きいことがわかる。なお、この表に示した値は、載荷板下に敷いた硬質ゴム板の影響で載荷板中心のたわみ量が極端に大きくなっているため、他の点のたわみから推定したものである。

次に、それぞれの目地部載荷時に測定した目地幅をまとめた(荷重276kN)。図-17には目地部載荷時における目地幅の比較を示した(継手間と継手近傍の両方)。継手(スリッパー)間のデータをみればわかるように、コッター継手は上面で閉じて下面で開いていることから、曲げモーメントが伝達されていることがわかる。またコッター継手で、版厚方向の目地幅変化状況(勾配)をみると、750mm間隔・トルク30%(A-C版)と1,125mm間隔・トルク60%(C-E版)がほぼ同程度であることがわかる。これが繰返し走行載荷につれて変化する状況を図-18に示した(A-C版)。目地幅自体は変化しているが、上側が開いて下側が開くという傾向は同一で、しかも版厚方向の目地幅勾配もほとんど変わらないことから、コッター式継手はこの程度の繰返し載荷に対して十分な耐久性を有していることがわかる。

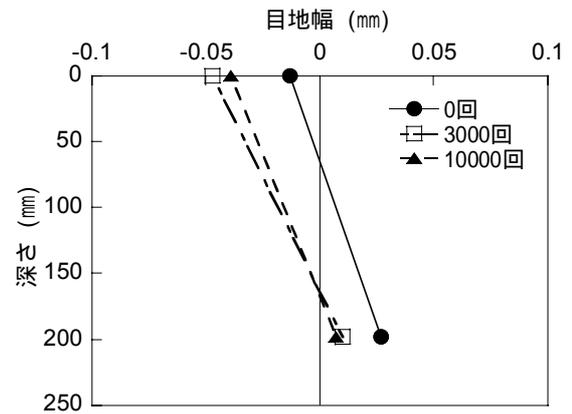
ここで得られたたわみ分布から荷重伝達率を次式⁸⁾を用いて算出した。

$$E_f = \frac{D_{450} / \{(D_{450} + D_0) / 2\}}{D'_{450} / \{(D'_{450} + D'_0) / 2\}} \times 100 \quad (2)$$

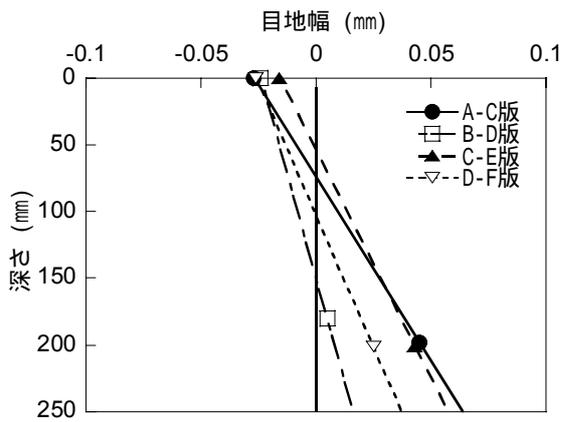
ここに、 D_{450}, D_0 は目地部、 D'_{450}, D'_0 は版中央部におけるたわみで、添字は載荷板中心からの距離である(D_{450}, D_0 は目地から225mm離れた非載荷側、載荷側のたわみになる)。



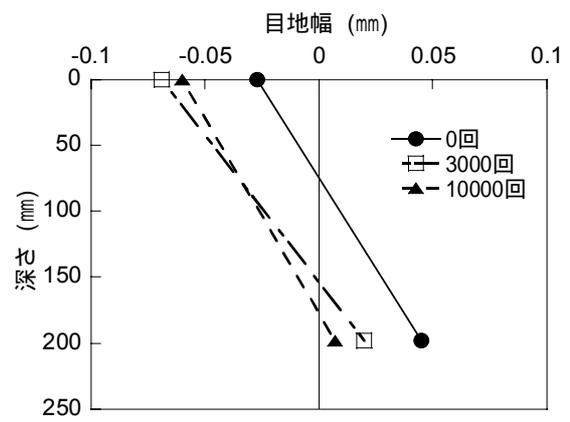
a) 継手(スリッパー)間



a) 継手間



b) 継手(スリッパー)近傍



b) 継手近傍

図-17 目地部載荷時の版厚方向目地幅分布の比較

図-18 A-C版の版厚方向目地幅分布

図-19に各目地における荷重伝達率が繰返し走行載荷により変化する状況を示した(荷重250kN)。いずれの目地においても、荷重伝達率は繰返し走行載荷の初期段階でいく分低下するが、その後10,000回までの走行載荷試験中でも大きく低下するようなことはなく、90%以上の値が確保されている。1,125mm間隔でトルク60%のコッター式継手(C-E版)は走行回数5,000回以降荷重伝達率が減少していること、750mm間隔とした場合の荷重伝達機能は96%程度を維持していることから、コッター式継手においてはその設置間隔を750mmとすることが妥当であるとわかる。また、コッター式継手の設置間隔を750mmとした場合には、水平ジョイントと同程度の荷重伝達機能を示していることも明らかである。

(3) まとめ

以上の試験結果を総括して、コッター式継手の標準構造を示すとともに、コッター式継手を用いた高強度RCプレキャスト版舗装を空港へ適用する場合に注意が必要となる点をまとめる。

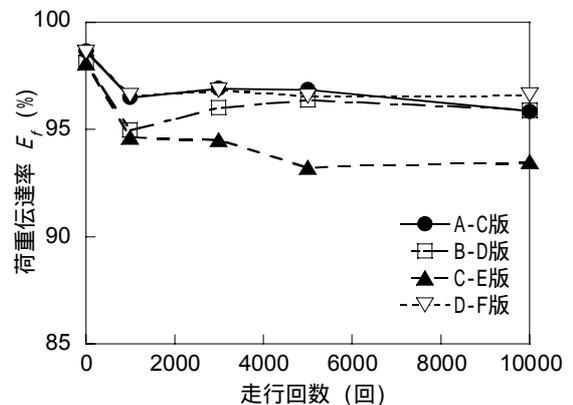


図-19 各目地における荷重伝達率の比較

a) コッター式継手の標準

i) 締付トルク

継手周辺の応力度分布をみると、150kN・m以上ではコンクリート版表面ひずみはあまり増加せず、250kN・mでH型金物の応力度が許容引張応力度に達することがわかる。このことから、コッター式継手の締付けトルクを最大で250kN・m程度とすることが妥当であると考えられる。

ii) 継手間隔

コッター式継手を有する目地について、設置間隔750mm、締付けトルク30%（H型金物許容引張応力度の）と設置間隔1,125mm、トルク60%を比較すると、両者はほぼ同程度の開閉状況を示すこと、荷重伝達率は後者が若干低いことがわかった。これにより継手間隔は750mmを標準とすればよいものと考えられる。

iii) 継手の設計

継手は、スリッパーの設計上の仮定に基づき設計すればよく、このときの1組のコッター式継手が伝達する荷重は、荷重伝達率を96%とみなして、設計荷重の48%とすればよいものと考えられる。

b) ひび割れへの対応

コッター式継手の剛性を高めることにより、荷重が直接加わらないRCプレキャスト版において負の曲げモーメントが発生し、表面に引張応力が潜在する状態となった。これにより初期の状態ではひび割れ発生までには至らなかったものの、繰返し荷重によって開口部などを起点としてひび割れが発生した。

RCプレキャスト版は、鉄筋コンクリート理論により設計されていることから、ひび割れの発生は構造上の問題とはならず、耐久性についてもひび割れ幅を鉄筋により制御することで問題とはならない。一連の試験結果からもひび割れ幅は非常に小さいものであり、通常では問題は生じないと判断できる。しかし、空港舗装においては、開口部等のかぶり部のコンクリートが剥離した場合の航空機への影響を考慮すると、ひび割れの進展を抑制する効果のある繊維補強コンクリートといったものをRCプレキャスト版表面部分に使用することが望ましいと考えられる。

同様に、継手近傍のコンクリートについても局所的な引張応力域が存在し、その値は非常に小さなものではあるが、繊維補強コンクリートなどで補強することがひび割れの進行を防止する上では効果的であると考えられる。このほかにも、継手の形状を改良することによっても継手近傍のコンクリートに発生する応力を減少できることが確認されている。

5. まとめ

本研究では、空港を対象としたRCプレキャスト版舗装を開発するために、試験施工による実証を行った。以下に主な結論を示す。

(1) RCプレキャスト版構造

C版中央部および開口部周辺において5,000回走行までの間にひび割れが発生したが、10,000回走行後のひび割れ幅は0.08mm以下であった。FEMによる検討結果から、

このひび割れは、走行荷重試験により負の曲げモーメントによる応力が繰返して発生し、開口部からひび割れが発生して進展したものと考えられた。しかし、版構造の耐久性については、ひび割れ幅に関しても、10,000回の繰返し走行荷重後における荷重試験によっても、十分であることが実証された。

(2) 目地構造

静的荷重試験における、各継手部における目地幅の測定結果から、コッター式継手は上面で閉じ、下面で開いていることから、曲げモーメントが伝達されていることが確認された。また、10,000回の繰返し走行荷重中における荷重伝達率も96%程度を維持していることから、耐久性は十分であることが実証された。

6. おわりに

以上、高強度RCプレキャスト版舗装の空港舗装への適用性についてまとめた。RCプレキャスト版の表面に発生するひび割れをより低減させるために繊維補強コンクリートで補強する対策を講ずる必要があるものとしているが、今後は、その効果を確認するとともに、施工方法の改善等により建設費用の低減を図る必要があると考えている。

なお、本論文は、国土交通省国土技術政策総合研究所、株式会社ガイアートクマガイ、ジオスター株式会社の三者の共同研究の成果の一部をまとめたものである。国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室坪川将丈研究官を始め、計画、試験、解析、とりまとめに関わった関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Sato, K., Fukute, T. and Inukai, H.: Some New Construction Methods for Prestressed Concrete Airport Pavements, 2nd International Conference on Concrete Pavement Design, pp.149-159, 1981.
- 2) 八谷好高, 野上富治, 横井聰之, 赤嶺文繁, 中野則夫: 圧縮ジョイントを用いた空港PPC版舗装の建設, 土木学会論文集, No. 728/VI-58, pp.51-65, 2003.
- 3) 渡瀬 伸, 高山善典, 伊藤彰彦, 神谷裕之: 高強度RCプレキャスト舗装版の開発と一般道交差部への急速施工, セメント・コンクリート, No.670, pp.8-15, 2002.
- 4) 運輸省航空局(監): 空港舗装構造設計要領, (財)港湾空港建設技術サービスセンタ, 147p., 1999.
- 5) 土木学会コンクリート委員会(編): コンクリート標準示方書 [舗装編], 212p., 2002.
- 6) 八谷好高, 坪川将丈, 伊藤彰彦, 山脇宏成, 田中秀樹, 横尾彰彦: 空港舗装における高強度RCプレキャスト舗装版の設計に関する基礎検討, 土木学会, 舗装工学論文集, 第8巻, 2003 (投稿中).
- 7) 土木学会コンクリート委員会(編): コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 257p., 2002.

- 8) 山埜井明弘, 加形 護, 川上淳仁, 萩島 徹, 宮本辰夫, 渡辺 夏也: RCCPの荷重伝達率の評価, 土木学会第46回年次学術講演会概要集第V部, pp.128-129, 1991.

APPLICATION OF HIGH STRENGTH RC PRECAST SLAB PAVEMENTS IN AIRPORTS

Yoshitaka HACHIYA, Kazuhiro MATSUZAKI, Akihiko ITO,
Hironari YAMAWAKI, Hideki TANAKA and Akihiko YOKOO

Recently, concrete pavements are often adopted due to both introduction of larger aircraft and increase of aircraft operations. To deal with these situations, RC precast slab pavement using high strength concrete with cotter joint system is studied. Through the repeated loading of 10,000 times with B747 landing gear on the experimental pavement, the durability of both cotter joint and RC precast slab was found fully sufficient. Based on a series of studies, the applicability of high strength RC precast slab pavement in airports was verified.