

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

伊藤彰彦¹・山脇宏成²・田中秀樹³・横尾彰彦⁴・田辺忠顕⁵・八谷好高⁶

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

²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 茨城県筑波郡谷和原村小絹 216-1)

³正会員 ジオスター株式会社 技術部 (〒113-0024 東京都文京区西片 1-17-8)

⁴正会員 工修 ジオスター株式会社 技術部 (〒113-0024 東京都文京区西片 1-17-8)

⁵フェロー会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町 1)

⁶正会員 工博 国土交通省国土技術政策総合研究所 空港施設研究室 (〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

空港のエプロン舗装では、これまで PC プレキャスト版舗装が採用されているが、目地構造および工費の面で問題点が指摘されている。これを解決するために、PC プレキャスト版と同様の耐荷力を持つ高強度 RC プレキャスト舗装版とコッター式継手による目地構造の研究開発を進めてきた。本報告では、空港舗装に使用する高強度 RC プレキャスト舗装版およびコッター式継手による目地の設計について、ウェスターガードの式、FEM 解析および小型供試体による試験から検討した。その結果、RC 理論の許容応力度法による版本体の設計の妥当性とコッター式継手による目地の設計方針が得られた。

Key Word : high strength cement concrete, precast RC pavement slab, cotter joint, Lattice-truss steel bar

1. はじめに

従来、埋立地や高盛土部に建設されている空港のエプロン舗装においては、不同沈下に対するコンクリート版の追随性、リフトアップするためのジャッキの能力や間隔への対策から、無筋コンクリート舗装に比べコンクリート版厚が薄くでき、しかも耐荷力の大きいプレキャストプレストレストコンクリート（以下 PPC）版舗装が採用されてきた¹⁾。この PPC 版舗装は、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ホーンジョイント鉄筋による連結方法がとられている。しかし、この方法による PPC 舗装版にはポンピング等に起因する損傷が供用開始数年後で発生する事例がみられ、最近改良がなされている²⁾。その一方で、PPC 版舗装は建設費および補修費が高くコスト縮減が望まれている。

著者等は、コスト縮減の観点から PPC 版舗装より比較的容易に製作でき、同等な耐荷力を持つ高強度 RC プレキャスト舗装版（以下 RC プレキャスト版）と荷重伝達能力に優れ容易に版連結ができる継手の研究を進めてきた。

本報文では、空港舗装に使用する RC プレキャスト版および新しいタイプの継手（目地構造）の設計

法について、ウェスターガードの式、FEM 解析および小型供試体による試験から検討した結果を報告する。

2. RC プレキャスト版の概要³⁾

(1) 版構造

RC プレキャスト版は強度、剛性を高めるために、高強度コンクリート（設計基準強度 $f_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$ ）と圧縮鉄筋と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。ラチストラス鉄筋を連結した鉄筋籠を写真-1、ラチストラス鉄筋を写真-2 に示す。ここで、版を高強度化する目的は、舗装版の構造細目のうち、極力版厚を薄くしてリフトアップ時の版本体の重量を低減し、構造物の長期供用を可能にすることにある。

また、RC プレキャスト版には、不同沈下が生じた場合にリフトアップを行うためのジャッキ装着を可能にする治具、グラウト注入孔、RC プレキャスト版設置の吊り治具を兼用できる多機能治具および設置時に使用する高さ調整ボルトを内蔵している。RC プレキャスト版の構造を写真-3 に示す。

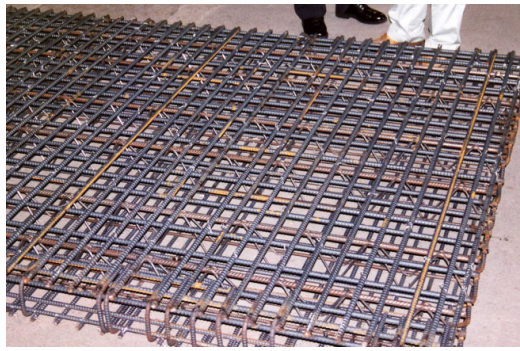


写真-1 鉄筋籠

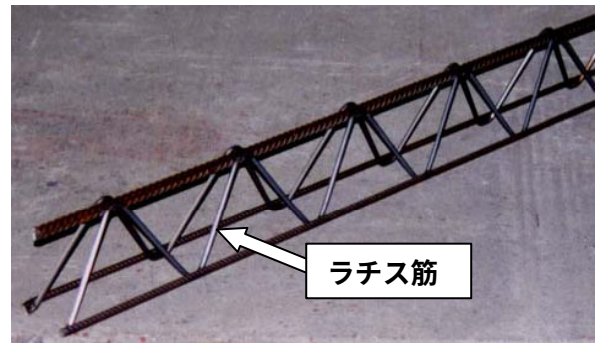


写真-2 ラチストラス鉄筋

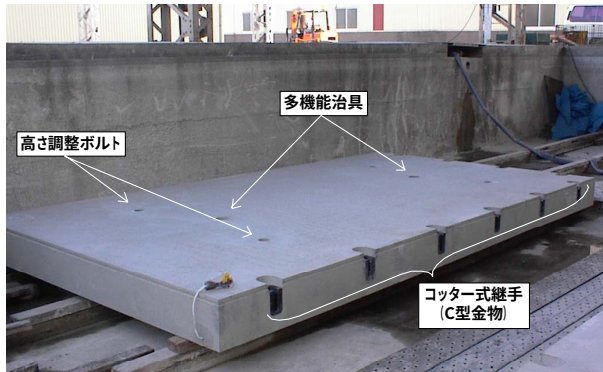


写真-3 RC プレキャスト版の構造



写真-4 コッター式継手

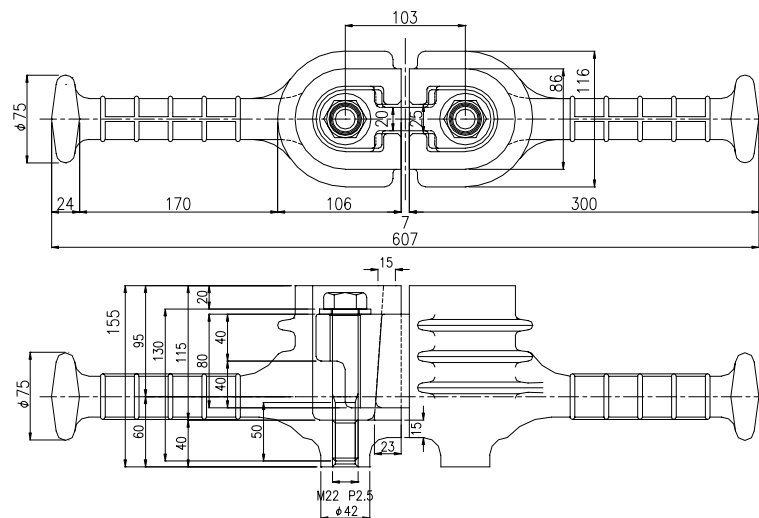


図-1 コッター式継手平面・側面図

(2) 継手構造

RC プレキャスト版を相互に連結するために、シールドトンネルセグメント用の継手を改良したコッター式継手（写真-4）を用いている。この継手による連結は、舗装版の弱点になる目地部の剛性を上げることにある。継手はH型金物（くさび形状）をC型金物内に圧入し、継手面にプレストレスを導入することができる機構になっている。H型金物はボルトで固定し、荷重の繰返しによる拔出しを防止する構造とした。逆にボルト、H型金物を取外せば、版の部分交換を行うことも可能である。

コッター式継手の平面図および側面図を図-1 に示す。

3. RC プレキャスト版の設計方針

これまで空港舗装において RC プレキャスト版を鉄筋コンクリート構造物として設計された例は無く、版厚などの設計はコンクリート舗装要綱に準じて設計交通量別に決定されていた⁴⁾。そのため最適な設計方法を確認するために、空港用の RC プレキャスト版の設計方針を以下のように考えた。

(1)RC プレキャスト版本体

版厚は、荷重条件、路盤以下の変形を考慮し、既設無筋コンクリート舗装版の 60%以上⁵⁾の厚さとする。ただし、リフトアップを前提にした場合、PPC 版の標準版厚は 18cm となっていることから⁵⁾、RC プレキャスト版の版厚を PPC 版厚に近づけることとする。また形状は、既設舗装の目地間隔および運搬可能な大きさおよび施工設備を考慮した版重量とする。

(2)RC プレキャスト版の鉄筋量

版の下面は使用状態においてひび割れを許容するため、設計荷重に対してコンクリートの引張強度を無視した断面を用いて、コンクリートと鉄筋に発生する応力が許容応力以内になるような鉄筋量とする。また下面のひび割れ幅が、版の耐久性を考慮した許容値以下にする（鉄筋コンクリート理論の許容応力度法：以下 RC 理論の許容応力度法）。

(3)継手部（目地部）

コッター式継手の間隔は、スリップバーの設計法に準じて行うものとする⁵⁾。

4. RC プレキャスト版の本体の検討

コッター式継手で連結された部分が、RC プレキャスト版本体と同等の剛性であれば、連結された RC プレキャスト版は PPC 版と同様に脚荷重により発生する応力をウェスターガードの中央部載荷公式により算出できる。従って、ウェスターガードの中央部載荷公式より RC プレキャスト版に発生する応力から算出した曲げモーメントと室内試験により継手部の曲げ剛性、せん断剛性を把握し FEM で算出された曲げモーメントとを比較し、継手部と RC プレキャスト版の剛性の違いによる影響を確認した。また、ウェスターガード載荷公式により RC 理論の許容応力度法で設計した RC プレキャスト版と PC 理論により設計した PPC 版について小型供試体をそれぞれ作製し、曲げ耐力および曲げ剛性を比較し、RC 理論の許容応力度法の適用した RC プレキャスト版の設計法について検証した。

(1)中央部載荷公式による応力

路盤以下の支持力を考慮したウェスターガードの中央部載荷公式より航空機の脚荷重（等価単車輪）が作用した時の RC プレキャスト版下面に生じる引張応力を求めた。算出条件と算出結果を以下に示す。なお、RC プレキャスト版の版厚は、鉄筋のかぶり、

コッター式継手の C 型金物の高さより 200mm とした。

a)算出条件

版形状 : 7,500×3,500 mm
版厚 $h = 200$ mm
脚荷重 $P = 910$ kN (B-747-400)
等価単車輪荷重 $Pe = 256$ kN⁵⁾
車輪の接地圧 $p = 1.38$ N/mm²

$$\text{タイヤ接地半径 } a = \sqrt{\frac{Pe}{p\pi}} = 243 \text{ mm}$$

$b : a < 1.724 h$ のとき

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h = 232 \text{ mm}$$

$a \geq 1.724 h$ のとき

$$b = a \text{ mm}$$

地盤支持力係数 $K_{75} = 70$ MN/m³

コンクリートの弾性係数 $E_c = 35$ kN/mm²

ポアソン比 $\nu = 0.2$

$$\text{剛比半径 } \lambda = \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu^2)K_{75}}} = 767.6 \text{ mm}$$

b)算出結果

引張応力

$$\sigma_i = 0.0547 \frac{Pe}{h^2} \left\{ \left(\frac{b}{\lambda} \right)^2 - 10.186 \log_e \left(\frac{b}{\lambda} \right) + 3.714 \right\}$$
$$= 5.60 \text{ N/mm}^2 \quad (1)$$

曲げモーメント

$$M = \sigma_i Z = 37.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (2)$$

Z：単位幅当りの断面係数

(2)小型供試体による継手部試験

RC プレキャスト版を空港で用いる場合、コッター式継手により平面一体化した面積のブロックとして解析することになる。コッター式継手による連結部の影響を考慮するために、小型供試体における継手部の曲げ試験、せん断試験を実施し回転バネ定数およびせん断バネ定数を求めた。

a)継手部曲げ試験

図-2 に示すような小型供試体でコッター式継手と一般的にプレキャスト部材の連結に使用されている金具式短ボルトの 2 種類について、図-3 に示す載荷装置を用いて 5 kN 毎に版中央部の垂直変位、コンクリートひずみ、継手開口量および H 型金物のひずみを測定しながら試験体が破壊に至るまで試験を行った。

図-4 にモーメントと回転角の関係を示す。それぞれの継手が許容応力に達するモーメント（コッター式継手：34.8kN・m、金具式短ボルト：32.2kN・m）までは除荷すると変形が元に戻ることが確認できたことから弾性範囲内であるといえる。従って、弾性

領域でのコッター式継手の剛性を回転バネ定数（回転剛性）＝モーメント／回転角で評価すると回転バネ定数は継手 2 組 1,500mm 幅で約 5.6MN・m/rad となる．この回転バネ定数は，コッター式継手の H 型金物の圧入により目地部のコンクリート部に生じた圧縮力を考慮した回転バネ定数として評価することができる．

b) 継手部せん断試験

継手部曲げ試験と同様に図-5 に示す小型供試体でコッター式継手，金具式短ボルトについて，図-6 に示す載荷方式で，20kN 毎に継手部の相対変位，コンクリートひずみおよび H 型金物のひずみを測定しながら試験体が破壊に至るまで試験を行った．

載荷荷重と相対変位の関係を図-7 に示す．コッター継手のバイリニアな挙動から，せん断剛性についてはコッター式継手の締め付けによるコンクリート面の摩擦の影響はほとんどないことがわかる．また，弾性領域でのせん断バネ定数は，コッター式継手 2 箇所当りの値であり，設計計算に使用する 1 箇所当りのせん断バネ定数は，約 190MN/m と評価できる．なお，金具式短ボルト継手では継手板のボルトクリアランスの関係からトリリニアな挙動を示し，舗装版としての適用性には課題があると思われる．

(3) FEM 解析による中央部載荷時の応力

FEM の解析モデルは，コッター式継手面の回転バネ定数およびせん断バネ定数を試験結果から求められたバネ定数を継手部境界条件として与え，7,500×3,500×200mm の RC プレキャスト版を 5×11 枚を連結したモデルとした（図-8 参照）．また，脚荷重（複数車輪）の載荷位置は連結された RC プレキャスト版のうち中央部の 1 枚の版の中央載荷とし，載荷形状はメッシュの関係上図-9 に示すようにした．解析条件を以下に解析結果を図-10 に示す．なお，路盤は路盤支持力係数を地盤バネ定数として節点に与えた．

a) 解析条件

コンクリートの圧縮強度	$f'_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$
コンクリートの弾性係数	$E_c = 35 \text{ kN/mm}^2$
コンクリートのポアソン比	$\mu = 0.2$
路盤支持力係数	$K_{75} = 70 \text{ MN/m}^3$
回転バネ定数	$K_{\theta} = 5.6 \text{ MN} \cdot \text{m/rad}$
せん断バネ定数	$K_s = 190 \text{ MN/m}$

FEM 解析結果は，ウェスターガードの中央載荷公式により算出された引張応力から求めた曲げモーメント 37.5kN・m と比較すると，FEM 解析のモデル（35.1kN・m）が実際の載荷条件と若干異なるが，ほ

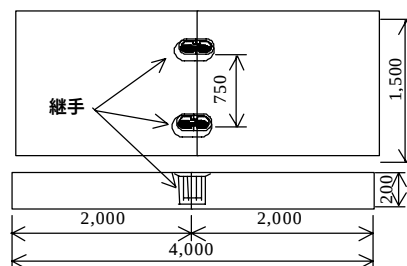


図-2 曲げ試験供試体形状（単位：mm）

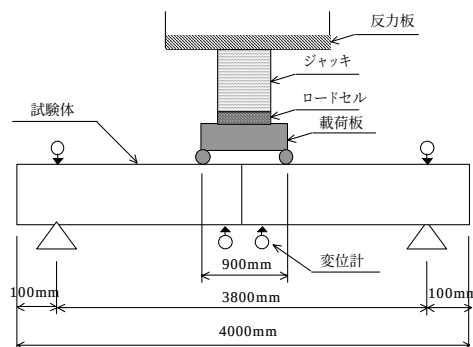


図-3 曲げ試験載荷方法

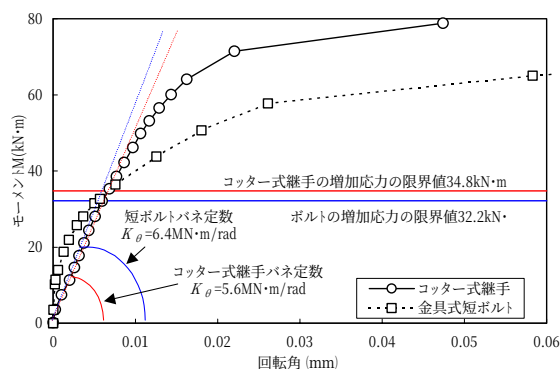


図-4 モーメントと回転角

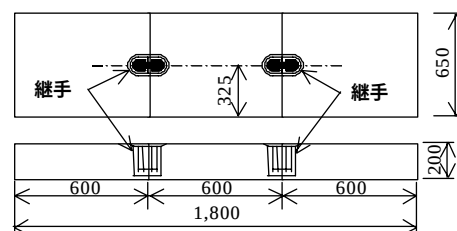


図-5 せん断試験供試体形状（単位：mm）

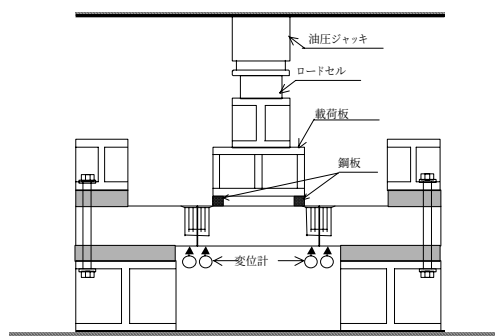


図-6 せん断試験載荷方法

ば一致していると評価できる。ウェスターガードの中央部載荷公式では継手部分の影響が考慮されていないが FEM 解析とほぼ一致したことから、載荷点から剛比半径（767.6mm）以上離れた位置にあるコッター式継手の影響は考慮する必要が無いと考えることができる。従って、実務上のウェスターガードの中央部載荷公式で RC プレキャスト版に生じる引張応力を求めることとした。

(4)鉄筋量の決定方法（RC 理論の許容応力度法）

RC 理論の許容応力度法により鉄筋およびコンクリートの応力がそれぞれの許容応力以下になるように版厚、使用鋼材量を決定する。その際に使用状態において RC プレキャスト版の断面力の算定が必要となる。以下に断面力の算定方法を示す。

a)軸方向応力（ σ_f ）

コンクリート版の温度が下がっていく時、版が平面的に伸縮しようとするのを路盤摩擦によって妨げられるため、版に応力（ σ_f ：引張応力）が働く。従って、温度下降時について路盤摩擦を軸引張応力として以下の式で考慮する必要がある。

$$\sigma_f = \sigma_0 = f \cdot w \frac{L}{2} \quad (3)$$

f ：路盤摩擦係数

w ：コンクリートの単位体積重量（ kN/m^3 ）

L ：1 ブロックの縦方向寸法（ m ，100m 以下）

b)航空機の脚荷重による応力（ σ_i ， σ_e ， σ'_e ）

脚荷重による応力は、脚荷重の載荷位置により異なる。通常、PPC 版の設計では脚荷重による応力は、載荷位置が中央部と自由縁部で算出されている⁵⁾。RC プレキャスト版はコッター式継手の連結により目地部は他の継手に比べかなり高い剛性を持つが RC プレキャスト版本体の剛性よりは小さいことが継手部の試験より確認されている。従って、載荷位置が中央部では(1)に示したウェスターガードの中央載荷公式による応力 σ_i 、自由縁部ではウェスターガードの自由縁部載荷公式⁶⁾による応力 σ_e 、継手近傍では、自由縁部載荷公式による応力に荷重伝達効果を低減係数⁶⁾で表した以下の式の 3 つの載荷位置で応力を算出することとした。

$$\sigma'_e = \beta \cdot \sigma_e \quad (4)$$

β ：応力の低減係数

σ_e ： $\sigma_e =$

$$(1 + 0.54\mu) \times 2.12 \times \frac{Pe}{h^2} \left\{ \log\left(\frac{\lambda}{10}\right) - 0.75 \log\left(\frac{a}{10}\right) - 1.8 \right\} \quad (5)$$

応力の低減係数は、路盤上での試験舗装を実施し

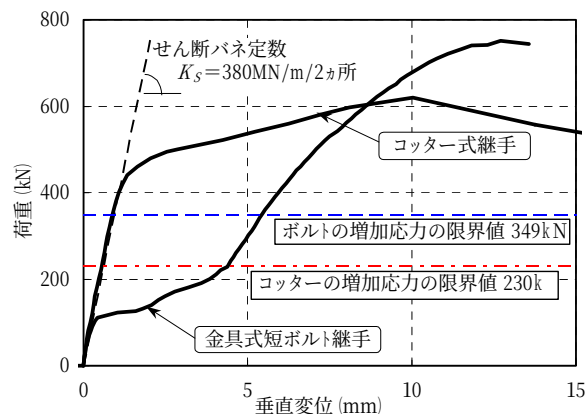


図-7 荷重と相対変位

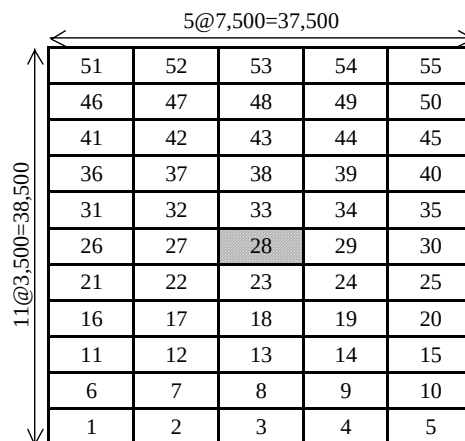


図-8 プレキャスト版連結モデル（単位：mm）
（斜線部の版に脚荷重を作用）

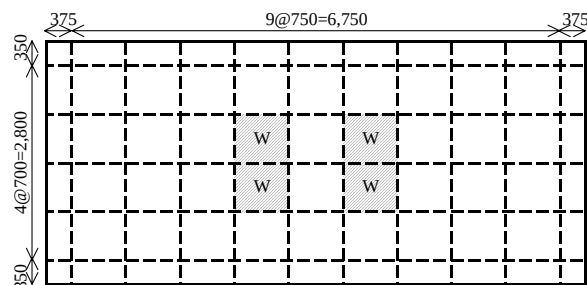


図-9 プレキャスト版 1 枚のメッシュ割と
載荷位置と形状（単位：mm）

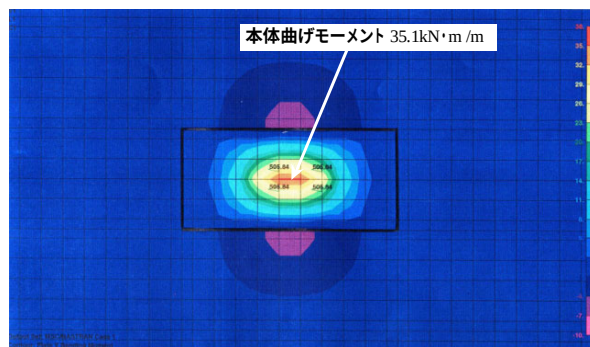


図-10 FEM 解析結果

荷重伝達能力を詳細に評価する必要があるが、コッター式継手は小型供試体による曲げ試験，せん断試験からかなりの剛性があると評価できるため 0.6 から 0.7 の値になると思われる。

c) 反り拘束応力 (σ_{tt} , σ_{te})

コンクリート版上下面の温度差により，版が反ろうとするが，自重により反り変形を妨げるため版には反り応力が発生する．版中央部および版縁部では以下のような式で応力 (σ_{tt} , σ_{te}) が算定できる。

$$\sigma_{tt} = 0.7 \frac{E_c \cdot \alpha \cdot \theta}{2(1-\mu)} \quad (\text{版中央部}) \quad (6)$$

$$\sigma_{te} = 0.35 \cdot C_w \cdot \alpha \cdot E_c \cdot \theta \quad (\text{版縁部}) \quad (7)$$

α ：線膨張係数 ($1/^\circ\text{C}$)

θ ：版上下面の温度差 ($^\circ\text{C}$)

C_w ：反り拘束係数

d) 合成応力と断面力の算定

a) から c) の算定結果からコンクリート版下面における合成応力を算定する．算定は，表-1 に分類するように温度上昇時と温度下降時における各載荷位置について算出する。

断面力の算定は，曲げモーメント M および軸力 N であり，温度上昇時の場合，曲げモーメント M のみが作用し，温度下降時の場合，曲げモーメント M および軸力 N が作用する二つの場合を検討する．なお，安全側で設計するために断面力 M , N は全断面に作用するものとする。

例：版中央部の場合

$$M = (\sigma_i + \sigma_{tt}) \cdot Z \quad \dots \text{温度上昇時} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} M &= \sigma_i \cdot Z \\ N &= A \cdot \sigma_0 \end{aligned} \right\} \dots \text{温度下降時} \quad (9)$$

Z ：断面係数（全断面）

A ：断面積（全断面）

(5) 小型供試体による版本体確認試験

(1) から (4) で検討した RC プレキャスト版の曲げ剛性および耐力等について，従来の PPC 版との比較と RC 理論の適用性について検証した．供試体は $2,000\text{mm} \times 4,500\text{mm}$ の平板とし，版厚および使用鋼材量については，PPC 版は，東京国際空港や関西国際空港で使用されたものと同一の仕様で，第Ⅲ種設計法（舗装版下面にひびわれを許容する構造）により決定した．また，RC プレキャスト版は同一の荷重条件で RC 理論の許容応力度法によって決定した．表-2 に版厚と鋼材量を示す．なお，設計上の抵抗モーメント（鉄筋の増加応力が許容値に達するモー

表-1 合成応力の算定項目

		脚荷重応力	反り拘束 応力	路盤摩擦に よる応力
上昇時	自由縁部	σ_e	σ_{te}	—
	版中央部	σ_i	σ_{tt}	—
	継手近傍	σ'_e	σ_{tt}	—
下降時	自由縁部	σ_e	—	—
	版中央部	σ_i	—	σ_0
	継手近傍	σ'_e	—	σ_0

表-2 版厚と鋼材量

	RC プレキャスト版	PPC 版
版厚 (mm)	200	180
鋼材量 (mm ²)	圧縮側 D13, 26 本 ($126.7 \times 26 = 3,394$) 引張側 D16, 28 本 ($198.6 \times 28 = 5,561$)	$\phi 17.8\text{PC}$ 鋼より線, 6 本 ($208.4 \times 6 = 1,250$)

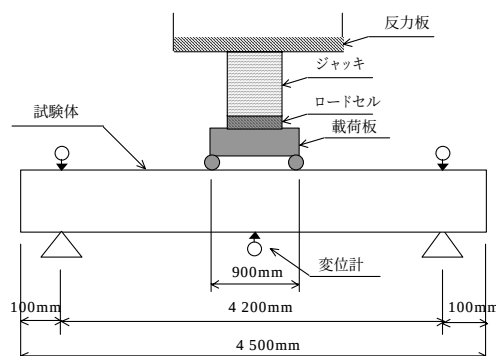


図-11 版本体曲げ試験

メント）を同等した．図-11 に示すように試験は 1 方向単純スパンの平板曲げ試験とし，10kN 毎に版中央部の鉄筋ひずみ，コンクリートひずみおよび垂直変位を測定しながら試験体が破壊に至るまで試験を実施した。

版本体曲げ試験により平板供試体に発生する曲げモーメントについて，RC 理論および PC の第Ⅲ種設計法による計算値と実測値を表-3 に示す．以下に各評価結果を示す。

a) ひび割れ発生モーメント

表-3 のひび割れ発生モーメントの計算値は，PPC 版は基準曲げ引張強度に有効プレストレスを加えたものに全断面有効の換算断面係数，RC プレキャスト版は基準曲げ引張強度に全断面有効の換算断面係数

表-3 版本体曲げ試験結果

試験体の種類	ひびわれ発生モーメント M_c		鉄筋の増加応力が許容値※に達するモーメント M_r		終局モーメント M_u	
	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値
RC プレキャスト版	104.4	76.5	167.9	166.4	315.4	377.4
PPC 版	157.4	144.5	160.7	154.8	257.2	257.6

※ PC 鋼材の許容値：増加応力度が 100 N/mm^2 に達した値
鉄筋の許容値：応力度が 196 N/mm^2 に達した値

を乗じて算出したものである。また、実測値は荷役段階毎にひび割れの有無を目視で観測し、ひび割れの発生が認められた時の荷重をひび割れ発生モーメントに換算したものである。RC プレキャスト版、PPC 版ともに実測値が計算値を下回る結果となっている。一般的に版厚の薄い鉄筋コンクリート部材の初期ひび割れについては、基準曲げ引張応力での評価ではなく、純引張応力の限界値による推定が妥当であると考えられる。

b) 曲げ耐力

供用時の曲げ耐力は、一般的に鉄筋の増加応力の許容値によって計算される。表-3 に示すように、RC プレキャスト版の鉄筋の増加応力が許容に達するモーメント（抵抗モーメント）の実測値はほぼ計算値と一致しており、版厚の薄い平板においても RC 理論の許容応力度法を適用しての設計が可能であることが分かる。また、図-12 にモーメントとコンクリートひずみ、鉄筋ひずみの関係を示す。ひび割れ発生まではほぼ全断面有効の理論値どおりであり、ひび割れ発生後、抵抗モーメント時ではコンクリート、鉄筋ともに許容ひずみを満足していることが分かる。

終局耐力について、実際の舗装版の設計においては路盤の破壊が支配的であることから、終局耐力の検討は省略されている。しかし、軟弱地盤上の不同沈下等により版本体に大きな曲げが生じる可能性が考えられることから、版単体の曲げ耐力として終局モーメントを確認した。表-3 に示すように RC プレキャスト版が PPC 版に対して約 1.4 倍の終局耐力を有し、安全率（表-4 参照）においても PPC 版を上回ることがわかる。

c) 曲げ剛性

試験結果から、曲げモーメントと版中央部の変位量の関係を図-13 に示す。また、ひび割れ発生前後の曲げ剛性と変位量について表-5 に示す。

曲げ剛性（ $\alpha = M/y$ と仮定）において表-5 から RC プレキャスト版は PPC 版に比べ、ひび割れ発生前で約 2 倍、ひび割れ発生後で約 6~8 倍といずれも

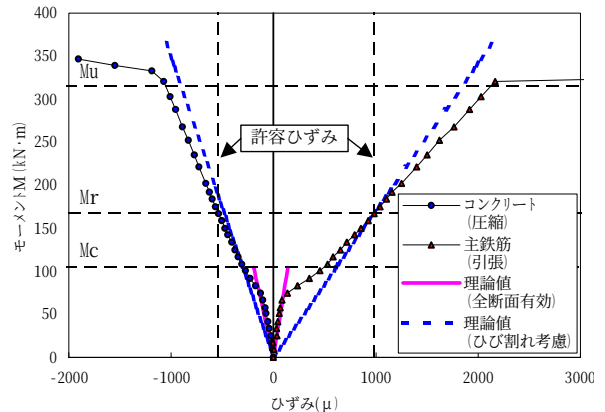


図-12 モーメントとコンクリートのひずみ、鉄筋のひずみ

表-4 破壊安全率

試験体の種類	安全率 F_s (M_u / M_r)
RC プレキャスト版	2.25
PPC 版	1.70

※安全率は終局モーメント M_u は実測値、抵抗モーメント M_r は設計に使用するため計算値とした

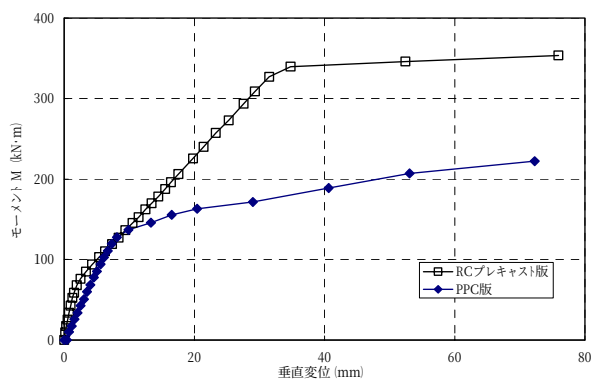


図-13 曲げモーメントと変位量

PPC 版の値を上回っていることから、剛性の高い版構造であることが確認された。また、RC プレキャスト版は PPC 版に比べてひび割れ発生が早い、発生時の変位量は PPC 版の 1/4 程度であり、鋼材増加応力の許容値付近の曲げモーメント（RC プレキャスト

ト版，PPC 版共に約 170kN・m）作用時においても，PPC 版の 1/2 程度に抑えられることが分かった。

d) ひび割れ発生状況

写真－5，6 に，各舗装版の終局モーメント時のひび割れ発生状況を示す。PPC 版に比べ RC プレキャスト版のひび割れ本数が多くなっていることが分かるが，供用時の平均ひび割れ幅が 0.15mm と小さい値であったので RC プレキャスト版はひび割れ分散効率が高いと評価できる。しかし，ひび割れ幅は舗装版の耐久性に大きく影響することから，RC プレキャスト版の設計は，ひび割れ幅を精査することが必要となる。具体的には，コンクリート標準示方書のひび割れ幅の算定式より算出されたひび割れ幅が 0.5mm 以下であることを確認する方法である。ここでひび割れ幅の規定値を 0.5mm 以下としたのは，実際の施工では，RC プレキャスト版と路盤との間にグラウト材が 10～20mm 程度注入するため水の浸入も無いことから，連続鉄筋コンクリート舗装のひび割れ幅 0.5mm 以下と定めた。

5. 継手部の基礎検討

(1) コッター式継手の間隔

通常スリップバーの設計は，1 本のスリップバーが伝達する荷重をスリップバーの長さ，目地幅，許容引張応力，コンクリートの許容支圧応力から求め，以下の式よりスリップバーの間隔を設計している。

$$S = \frac{1.8 \cdot \lambda \cdot P_a}{0.4 \cdot P} \quad (10)$$

S：スリップバーの間隔（mm）

λ：剛比半径（mm）

P_a：1 本のスリップバーが伝達する荷重（N）

P：設計荷重（N）

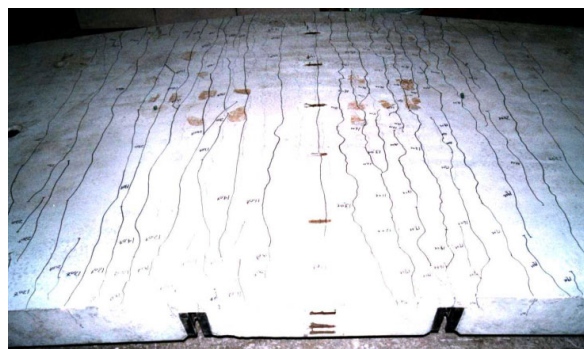
コッター式継手の間隔をスリップバーの設計法に基づき設計するためには，1 組のコッター式継手が伝達する荷重を求める必要がある。そのため，小型供試体によるせん断試験のコッター式継手のせん断耐力について確認を行なった結果から求めることとした。

せん断試験結果からコッター式継手は 315kN で破壊（継手 1 組に対して）に至っているが，この値は最終荷重であるため，前述の図－7 から判断すると，コッター継手が伝達する荷重は，弾性挙動を示す範囲である 200kN（2 箇所 400 kN）程度であると評価できる。従って，コッター式継手が伝達する荷重に対して 2 から 3 の安全率をみた荷重を設計に用い

表－5 曲げ剛性および変位量

試験体の種類	単位変位量当りのモーメント (kN・m/mm)		変位量 (mm)	
	発生前	発生後	発生時	鋼材許容時
RC プレキャスト版	30.2	8.5	2.5	13
PPC 版	13.8	1.1	9.9	30

※鋼材の許容ひずみ時：PPC 版・RC プレキャスト版共に約 170kN・



写真－5 RC プレキャスト版ひび割れ発生状況



写真－6 PCC 版ひび割れ発生状況

ることとした。

また，コッター式継手の間隔はスリップバーの設計法に準拠するが，スリップバーでは隅各部から離れた箇所における荷重伝達能力を設計荷重の 40% としていることから，スリップバーよりせん断耐力が高いコッター式継手では荷重伝達能力を設計荷重の 40% 以上とすることができると考えられる。しかし，小型供試体による試験では版を固定された支承上に設置して実施したもので数値を特定することは困難であるため，実際の路盤上に RC プレキャスト版を設置，接合させた試験施工を行いコッター式継手の荷重伝達能力を評価することが必要である。

(2) 軸方向引張応力の照査

コッター式継手で連結された RC プレキャスト版は，版の温度が下降する際に路盤摩擦によりコッター式継手に軸方向引張応力（σ_H）が発生する。し

かし、コッター式継手の H 型金物はボルトの締付けにより軸方向圧縮力が導入されていることからそれ以上の軸方向引張力が作用しない限り目地が開くことは無いと考えられる。従って、軸方向引張力について H 型金物の応力照査とコッター式継手の必要アンカー長について以下の式で照査することとした。

a) コッター-H 型金物の応力の算定

$$\sigma_H = \sigma_f \cdot A_{CH} / A_H < 190 \text{ N/mm}^2 \quad (11)$$

(H 型金物の許容引張応力)

σ_H : 軸引張力により H 型金物に発生する応力

σ_f : 温度下降時の路盤摩擦による引張応力

A_{CH} : コッター 1 個当りのコンクリート断面積
(全断面; コッター継手の間隔×版厚)

A_H : H 型金物の断面積

b) アンカー長の算定

$$L_H = \frac{N_H}{\sigma_{bok} \cdot l_{sa}} \quad (12)$$

L_H : アンカー長

N_H : H 型金物 1 個当りの軸引張力 ($N_H = \sigma_H \cdot A_H$)

σ_{bok} : コンクリートの付着強度

($= 0.28 \sigma'_{ck}{}^{2/3}$ ただし $\sigma_{bok} \leq 4.2 \text{ N/mm}^2$)

l_{sa} : アンカーの周長 ($= \pi D$)

6. まとめ

空港舗装に適用する RC プレキャスト版の設計に関して基礎的な検討を実施した結果、コッター式継手で連結された RC プレキャスト版舗装に対して脚荷重が中央部載荷された場合の版に生じる応力はウェスターガードの中央部載荷公式により求めることができることがわかった。また、脚荷重による応力、軸方向引張応力、反り拘束応力等の合成応力から求

められた断面力に対し RC 理論の許容応力度法による版本体の設計が小型供試体の試験結果から妥当であることがわかった。

継手の設計方法はコッター式継手の基本的な設計要素についての方針は見出されたと思われる。

しかし、実際の空港舗装においては、路盤上に RC プレキャスト版が敷設され、コッター式継手により連結し、ある一定の大きさで平面一体化がなされることとなる。従って、実際の脚荷重が作用した場合の RC プレキャスト版舗装の設計法の照査、平面一体化舗装としての挙動および断面力の発生状況の確認、コッター式継手を含めた目地部の設計方法について、ある程度の大きさの試験舗装を構築し、静的載荷試験、繰返し走行試験によって確認、検討する必要性がある。

参考文献

- 1) 八谷好高, 佐藤勝久, 犬飼晴雄: 沈下したプレストレストコンクリート舗装版のリフトアップ工法の開発, 土木学会論文集, No.421, pp.145-154, 1990.
- 2) 赤嶺文繁, 八谷好高: プレキャスト PC 版舗装における圧縮ジョイントの荷重伝達機構, 土木学会論文集, No.662, pp.217-222, 2000.
- 3) 小島逸平, 伊藤彰彦, 山脇宏成: 高強度 RC プレキャスト舗装版の開発と施工, 舗装, Vol.37. No.6, pp.8-13, 2002.
- 4) 権平靖生: リバーシブル型プレキャスト RC 版による舗装修繕, 舗装, Vol.25, No.11, pp.9-15, 1990.
- 5) 運輸省航空局監修: 空港舗装構造設計要領, pp.64, 116, 94, 135, 1999.
- 6) 土木学会: 2002 年制定コンクリート標準示方書舗装編, pp.44, 39, 2002.

BASIC EXAMINATION ABOUT THE DESIGN OF THE HIGH STRENGTH RC PRECAST PAVEMENT SLAB IN AIRPORT

Akihiko ITO, Hironari YAMAWAKI, Hideki TANAKA,
Akihiko YOKOO, Tada-aki TANABE and Yoshitaka HACHIYA

The PC precast slab (PPC) used for airport pavement has a problem in respect of joint system and construction cost. In order to solve these, we have been developed about high strength RC precast slab (HRC) as durable as PPC, and joint system by the cotter joint. By this report, we considered about the design of HRC and the cotter joint used for airport pavement by Westergaard's formula, FEM analysis, and the examination by the specimen. As a result, we obtained the check of appropriation design of slab by allowable stress design of reinforced concrete's theory method and design principle of cotter joint.