

## 広島空港高カテゴリー化整備事業に係る 電波高度計用地（大規模人工地盤）の整備について

Expansion of The Radio Altimeter Site with Steel Structure ,  
Required for Upgrading The ILS Category at Hiroshima Airport

出口和也 Kazuya DEGUCHI (国土交通省 中国地方整備局)



本文では、広島空港の高カテゴリー化整備事業に不可欠な電波高度計用地の設計について、採用したコスト削減技術を中心に報告する。具体的には、盛土による造成が一般的な電波高度計用地について発想を転換し、電波反射性能及び所定の材料強度を満足し、コンクリート床版より軽量で経済的なグレーチングを用いた人工地盤方式で構築することにより、大幅な工事期間の短縮及びコスト削減を図ることができた。人工地盤方式の電波高度計用地は全国初であり、今後、同様な施設への活用が期待される。

キーワード：耐震， 地震応答， 空港， 橋梁 (IGC：H-6)

### 1. はじめに

広島空港は延長 3,000m の滑走路を有する中国地方の拠点空港として国内外を結び、年間約 330 万人に利用されている。しかしながら、標高約 330m の山岳部に立地することから季節的に気象条件が悪化して霧・雲に覆われることがあり、視程不良による欠航やダイバート（目的地の変更）等の発生が問題となっていた（図-1、図-2、写真-1、写真-2 参照）。

霧等の発生で視界が悪い気象条件で着陸する場合、電波によって航空機を誘導する計器着陸施設（ILS）と精密進入用航空灯火施設が重要な役割を果たしている。このため、平成 15 年度より、就航率の向上及び定期便の定時運航を図ることを目的とする計器着陸施設（ILS）の高カテゴリー化整備事業を実施することとなった。

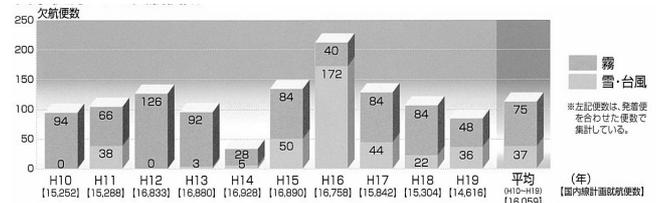


図-2 気象状況による欠航便数



写真-1 視界不良時の広島空港

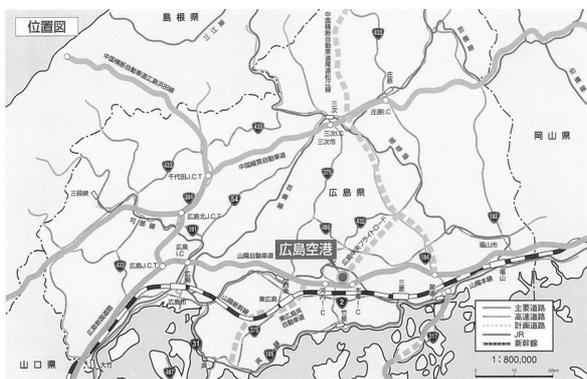


図-1 広島空港位置図



写真-2 天候良好な広島空港

この計器着陸施設は、3種類のカテゴリー（CAT-I、CAT-II、CAT-III）に分類され、これらのカテゴリーが高くなる（数字が大きくなる）につれて、航空機をより滑走路近くまで誘導できることになり、CAT-IIIaを導入した場合、霧などの気象条件による欠航はほとんど解消される（表-1参照）。

表-1 計器着陸施設のカテゴリー別運航条件

カテゴリー	カテゴリー-I (CAT I)	カテゴリー-II (CAT II)	カテゴリー-IIIa (CAT IIIa)	カテゴリー-IIIb (CAT IIIb)	カテゴリー-IIIc (CAT IIIc)
決心高(DH) <sup>※1</sup>	60m/200ft 以上	60m/200ft 以上	-	-	-
視程(VIS) <sup>※2</sup> / 滑走路視距離 (RVR) <sup>※3</sup>	VIS 800m/ RVR 550m	RVR500m 以上	RVR200m 以上	RVR100m 以上	-
運用開始時期	H5.10~		H20.6~	H21.6~	

※ ICAO(国際民間航空機関)による分類に基づき整理

広島空港高カテゴリー（CAT-IIIa）化整備事業は地元広島県が整備に向けた予備検討を行った後に事業化されたもので、大きく分けると中国地方整備局の実施する電波高度計用地の整備並びに大阪航空局の実施する無線・航空灯火設備の整備からなる（表-2参照）。

## 2. 電波高度計用地の設計

### 2.1 前提条件

CAT-IIIaが運用されると、無線施設の電波精度が向上され、航空機の位置、方向をCAT-Iより高精度に制御することが可能になる。また、航空機の高さの高精度な制御を行なうために、滑走路手前に航空機から照射される電波高度計の電波を反射する長さ300mの平面（電波高度計用地）が必要となる。しかしながら、広島空港では電波高度計用地が確保されていなかったため、盛土あるいは他の工法により電波高度計用地を整備する必要があった。

### 2.2 整備工法の検討

電波高度計用地の整備は、最大標高差約60mの既設滑走路に接続する谷部に長さ300m×幅60mの反射地盤を滑走路と同じ高さで構築する大規模で高額な土木工事であり、約210万m<sup>3</sup>の盛土を必要とした（写真-3参照）。

表-2 CAT-IIIa化に必要な施設

土木施設	電波高度計用地	人工地盤構造物：182.5m×60m
		R/W10 安全区域整地
		R/W10 安全区域端部場周道路嵩上げ
	LLZ用地	現LLZ用地を東側へ90m拡張
		LLZ用地の拡張に伴う補償工事一式
灯火施設	PALS側	安全区域整地による基礎の嵩上げ等
		人工地盤構造物範囲における灯火等
	SALS側	LLZ用地拡張に伴う灯火の更新等
		滑走路灯火、誘導灯火の増設
	電源庁舎	
無線施設	RA用地側	IM空中無線増設、FFM空線増設等
	LLZ用地側	LLZ空中無線移設
	庁舎・管制塔	ILS監視制御装置改修増設等
気象施設	RVR	2式増設

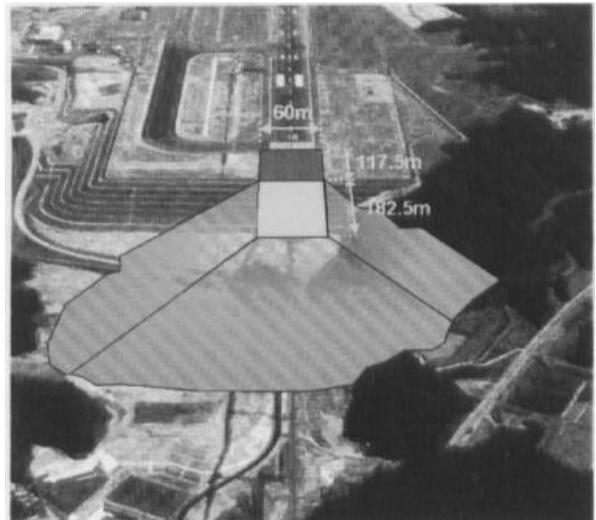


写真-3 電波高度計用地の盛土イメージ

広島空港高カテゴリー化整備事業に係る電波高度計用地（大規模人工地盤）の整備について

そこで、長さ 300m×幅 60m のうち、一部は現盛土地盤を活用し、残りを盛土地盤に代わる電波反射性能を有する人工地盤により、従来工法（盛土構造）比で、約半分（約 40 億円）のコスト削減を目標に当局広島港湾空港技術調査事務所において詳細検討を行なった（図-3 参照）。

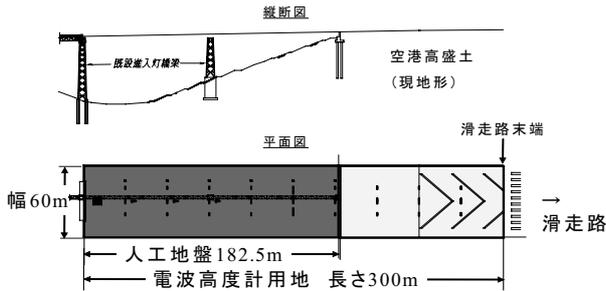


図-3 電波高度計用地（人工地盤）概要図

この人工地盤形式の電波高度計用地は、国内はもとより世界でも例がなく、人工地盤の要求性能である電波反射性能、耐荷性能、耐震・耐風性能を満足する床版（電波反射面）の検討からはじめた。中でも最も重要な電波反射性能は、図-4 に示すように反射電波と透過電波の強度差を 20db 以上確保する必要がある。

床版の材質については、当初は PC 床版を想定したが（表-4 参照）、床版の軽量化が基礎を含む人工地盤全体のコストダウンにつながるため、PC 版より軽量かつ安価なグレーチング材について様々なタイプ（表-5 参照）で電波反射性能実験を行なった。図-5、図-6 及び写真-4 に示す実験装置は、航空機と同種の電波を照射し、グレーチングからの反射電波と透過電波の強さを測定する装置で、実験結果から要求性能を満足する最も軽量の工業用グレーチング（ピッチ 30mm）を採用することとなった。これにより対 PC 系床版比で約 25%の軽量化が図られ（写真-5 参照）、コスト削減・施工性の向上に大いに寄与した。

人工地盤に求められる性能は表-3 のとおりである。

表-3 人工地盤に求められる性能

項目	要求性能	備考
電波反射性能	航空機から照査される電波高度計電波を適切に反射する	周波数について、反射電波と透過電波の強度差 20db 以上を確保
耐荷性能	設計荷重を上載することが可能である	車両・・・2t車×1台 作業員・・・6人程度 etc
耐震性能	地震発生時にも構造物の被害が許容される範囲内に収まる	レベル I 地震 近い将来発生が起ころうる地震 レベル II 地震 地震防災計画等総合的に判断された最大規模の地震 ・変位抑制（進入灯と人工地盤の間に必要な離隔を確保） ・制震構造

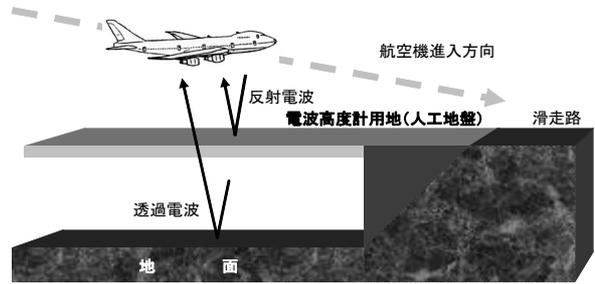


図-4 電波反射概念図

表-4 電波反射性能実験結果

用資材	仕様	実験結果	
		適否	留意事項等
コンクリート版	有筋	○	
	無筋網埋込み	○	
	無筋	○	
エキスパンドメタル	XG (14, 23)	△	H≥5m で ok
	XS (33, 43, 73)	△	
鋼板+アスファルト舗装	鉄板厚(2mm) 舗装厚(60, 90, 120mm)	○	
アスファルトのみ	舗装厚(120mm)	△	H≥10m で ok
グラウンド(土+芝)	-	○	実績あり

表-5 実験に用いたグレーチングタイプ(6種類)

メッシュ拡大図	A-①	A-②	A-③	
	写真	採用	写真	
	メッシュ拡大図	B-①	B-②	B-③
写真		B-①	B-②	B-③

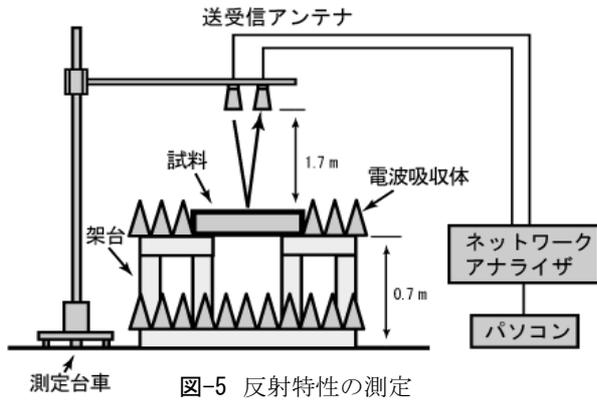


図-5 反射特性の測定

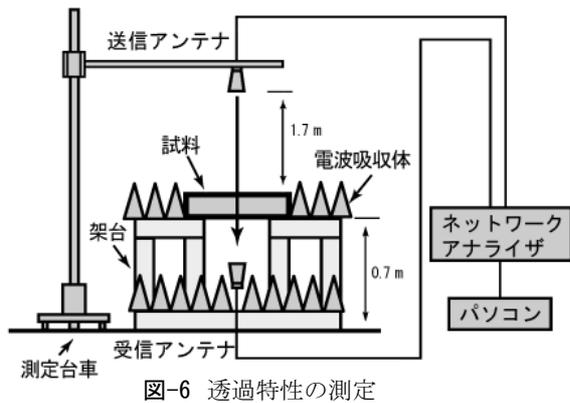


図-6 透過特性の測定



写真-4 反射・透過特性実験装置



写真-5 完成した人工地盤

### 2.3 下部構造の検討

床版の軽量化を踏まえ、更なる下部構造の合理化を図ることとした。この下部工（床版を支える柱部分）の設計で留意しなければならないことは、人工地盤が既設進入灯を挟むような構造となることから、地震時等の変位量を小さくして進入灯橋梁に干渉しないようにしなければならない。図-7 に、橋軸直角方向に橋脚を連結する構造についての比較検討を行なった3案を示す。検討結果として、橋軸直角方向の振動特性の改善を目的として同方向に橋脚の頂部を連結する構造（頂部水平梁構造）を採用することになった。

グレーチング床版の採用で上部工が軽減化されたことにより、橋脚形式をトレススル橋脚とし、橋脚本数を当初PC床版で計画した12本（橋軸直角方向4本×橋軸方向3列）から6本（橋軸直角方向に2本×橋軸方向3列）に低減することができた。

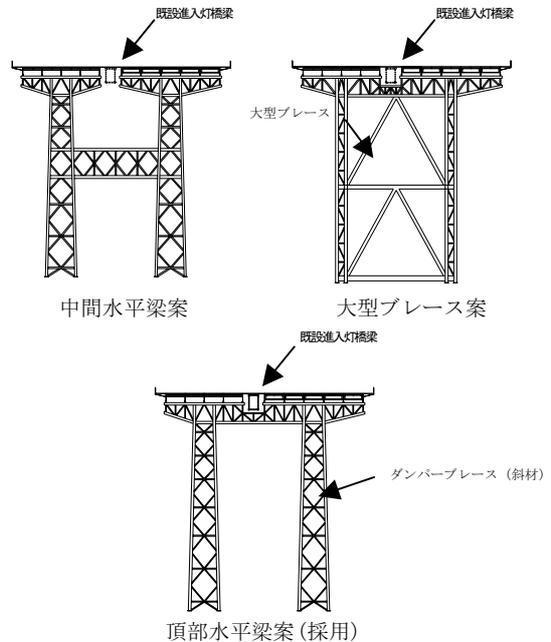


図-7 下部工構造比較検討案

図-7 中、中間水平梁案は頂部での相対変位が大きくなり不利となる。大型ブレース案はひとたび大型ブレースの一部が破損すると全体に影響する脆弱な構造であり、いずれも不採用とした。よって、両橋脚の頂部を水平梁で連結する頂部水平梁構造にすることとした（写真-6 参照）。

また、斜材には、写真-7 及び 図-8 に示すように建築構造物の免震装置として実績の多いダンパーブレース ※4) を土木構造物としてはじめて採用して揺れを抑制することとした。

橋脚部にダンパーブレースを採用することにより、採用しない場合と比較して、橋脚重量が約 50%軽減化され、大幅にコスト削減を図ることができた。



写真-6 下部工構造（頂部水平梁）



写真-7 ダンパーブレース設置状況

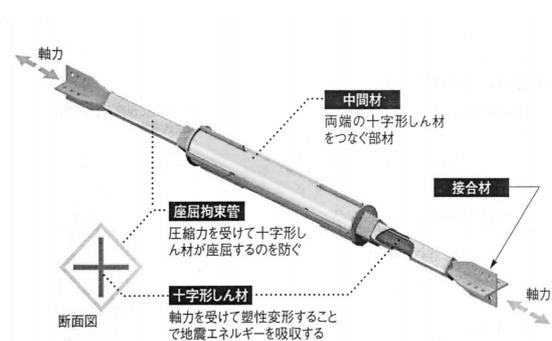


図-8 ダンパーブレース構造図

## 2.4 耐震性能の照査

耐震設計は平成12年3月に運輸省（当時）航空局が取りまとめた耐震設計指針に基づき性能照査を行った。

### (1) 設計入力地震動

設計入力地震動としてレベル1地震動およびレベル2地震動（プレート境界型および直下型地震）の計3波を作成した。なお、レベル2地震動は広島県地域防災計画より広島空港における想定地震（表-6 参照）を選定し、地震規模(M)および震源から広島空港までの距離(km)から基盤最大加速度を算定した。

表-6 レベル2地震動の想定地震

	想定地震	地震規模	地震面距離
境界型	安芸灘・伊予灘を震源とする地震	M7.3	56.0km
直下型	中央構造線を震源とする地震	M7.9	62.0km

### (2) 人工地盤の耐震上の重要度および要求性能

人工地盤は視程不良時のみ使用する施設であり、耐震設計上の重要度は空港内の他の施設（滑走路、橋梁など）に比べ必ずしも高くない。したがって、施設の重要度に応じた耐震設計上の要求性能を設定した（表-7 参照）。

表-7 人工地盤の耐震上の要求性能

地震動	地震動に対し目標となる耐震性能	
レベル1	被害程度Ⅱ	短期間の応急復旧で所期の機能を確保
レベル2	被害程度Ⅲ	著しい被害を受けるが崩壊しない

### (3) 耐震性能照査方法および照査基準

性能照査はトレスル橋脚の動的特性を踏まえ、非線形モデルによる時刻歴応答解析により行った。なお、人工地盤と進入灯橋梁との干渉問題を検討できるよう両構造物を含めた解析モデルを構築した（図-9 参照）。

人工地盤単独の照査基準は、要求性能を参考にレベル1地震動に対しては部材を弾性域内におさめることとし、レベル2地震動に対しては、構造系の崩壊に配慮し、副部材の塑性化を許容するものの、主部材は降伏させないことを目標とした。

また、人工地盤と既設進入灯橋梁の地震時の離隔については10cm以上確保することとした。

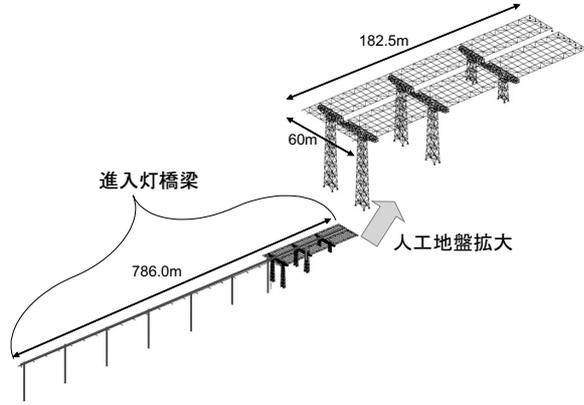


図-9 動的解析モデル

(4) 耐震性能照査結果

レベル1地震動に対し、震度法で決定した構造諸元に基づき耐震性能の照査を行った。その結果、部材は弾性域に収まったものの進入灯橋梁と鉛直方向に干渉することが判明した。また、レベル2地震動に対しては、塑性化を前提としたブレース材の適切な配置により人工地盤の応答特性が改善され、部材は照査基準を満足したものの、レベル1時と同様に両構造物が鉛直方向に干渉することが判明した（図-10参照）。

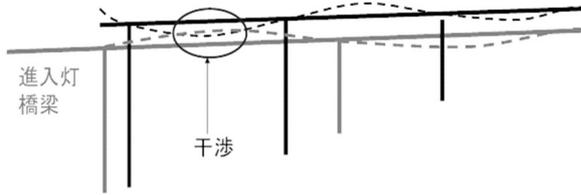


図-10 両構造物の干渉イメージ

(5) 照査結果を踏まえた干渉対策

照査結果を踏まえ、レベル1、2地震時の人工地盤及び進入灯橋梁の干渉対策について検討を行った。

検討の結果、人工地盤の縦断勾配（滑走路隣接部→西側先端）を1.985%から1.720%に若干緩め、人工地盤面を進入灯橋梁と干渉しない高さまで引き上げる案を採用し、再計算を行なった。

再計画にあたってはレベル2地震時に干渉しなければレベル1地震時でも干渉しないことから、レベル2地震時に干渉しないよう人工地盤の縦断勾配を見直し、両構造物間の所定の離隔を確保した（図-11参照）。

2.4 色彩計画の検討

人工地盤設置後の周辺景観に配慮するため、有識者による景観委員会を設置した。人工地盤は写真-8に示すように白と朱を基調に配色されており、委員会で決定した色彩コンセプトである「空をとぶもの」「飛行機の翼」「浮遊感」を表現している。現在では、地元住民から空港撮影のスポットとして親しまれている。

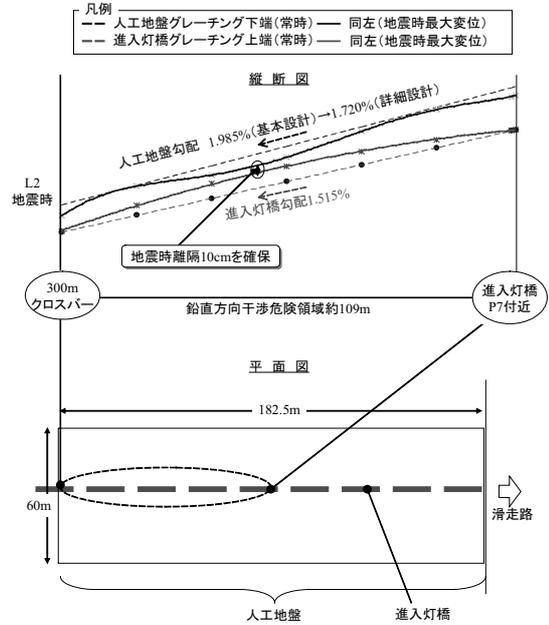


図-11 干渉対策後の人工地盤の挙動



写真-8 人工地盤全景

3. 現地施工

人工地盤の施工は広島港湾・空港整備事務所が担当し、平成16年11月に現地基礎工事（深礎工法）に着手、その後、下部工・上部工の工場製作と現地組立施工（一部夜間施工）により平成19年3月までの約2年間、空港利用の制限を掛けずに短期間で竣工することができた。その後、大阪航空局が整備する航空灯火並びに無線設備等の工事完了後、国際基準に基づいた高カテゴリーILS装置の継続性評価規定による4,100時間の連続運用評価を経て、平成20年6月より供用開始した。

### 3.1 基礎工の施工

地盤下基礎施工（約 40m）にあたっては、大口径（φ 2.5～3.5m）による岩砕施工が必要であったため、発破と有人掘削の組み合わせによる深礎杭で施工した（写真-9 参照）。



写真-9 基礎掘削状況

### 3.2 部材製作・仮組立

下部工及び上部工は、三重県、兵庫県、香川県及び広島県内の工場で部材製作・仮組立を行い、海上輸送ならびに陸上輸送で現地に搬入して所定の位置に組み立てた（写真-10、写真-11 参照）。



写真-10 PA2 仮組立て状況



写真-11 北桁仮組立て状況

### 3.3 下部工の施工

進入表面 ※5) に抵触しないように、高さ制約下のクレーン作業（昼間施工）を行った（写真-12 参照）。



写真-12 PA1 柱組立状況

### 3.4 上部工の施工

進入表面を抵触しない重機を使用しての施工は困難なため、夜間施工（22:00～6:00）により床版を架設した（写真-13 参照）。



写真-13 上部工（グレーチング）架設状況

## 4. 整備効果

供用を開始した平成 20 年 6 月より今日まで、CAT-Ⅲa の未対応機材あるいは、CAT-Ⅲa の資格を持ったパイロットが乗務していなかった場合を除き、霧の影響により離発着できなかった航空機はない。また、以前のシステム（CAT-I）では離発着が出来なかった乗客約 14,000 人が救済されている（平成 21 年 6 月末現在）。

なお、CAT-Ⅲa で 5,200 時間の運用実績を積み、CAT-Ⅲb への移行手続きが完了したため、平成 21 年 6 月 4 日より CAT-Ⅲb の運用が開始された。これにより、条件が整えば、CAT-Ⅲa の半分（100m 以上）の視界が確保されれば着陸可能となり、霧に対してさらに安心して利用できる空港に生まれ変わった。

## 謝辞

広島空港の計器着陸施設の高カテゴリー化（CAT-IIIa）整備事業が、(社)全日本建設技術協会 平成20年度「全建賞」に選ばれました。「全建賞」は、建設技術の活用などにより特出した成果のあった事業等に贈られるもので、斬新なアイデアと最新技術により、大幅なコスト縮減を実現し、周辺景観にも配慮した“人工地盤”の整備が高く評価されたものと思われまます。

設計技術者、安全に工事を完了させた現場技術者をはじめ、関係者のみなさまの貢献は非常に大きく、この場を借りて改めて感謝の意を表します。

## 用語解説

- ※1) 決心高とは、着陸しようとする航空機が進入継続の可否を判断する特定の高さをいう
- ※2) 視程とは、大気を通しての視界の良否を示すもので、人間の視覚に関係する量をいう
- ※3) 滑走路視距離とは、滑走路の中心線上にある航空機からパイロットが滑走路標識、滑走路灯又は滑走路中心線灯を視認できる距離であって、地上の計器により測定したものを示す
- ※4) ダンパーブレース（制震ブレース）とは、橋脚等の斜材に取付けて、地震時に鋼材が塑性変形することで、地震のエネルギーを吸収する装置をいう
- ※5) 進入表面とは、航空機の安全な航行を目的として飛行場の周辺空間に設定される制限表面のうちの一つで、この面より上の空間に建物などのあらゆる物件を設置することは航空法により禁じられている

(2009年6月29日 受付)