

D滑走路における伸縮装置の設計・製造・施工について

接続部護岸・栈橋工区 新原雄二 連絡誘導路工区 岩崎 泰
 栈橋 工区 南郷健太郎 栈橋 工区 林 晋

キーワード：伸縮装置、ローリングリーフ、相対変位、性能確認試験、維持管理

1. はじめに

埋立部と栈橋部、さらには連絡誘導路といった異種構造物から構成されるD滑走路では、異種構造物間の相対変位を吸収するために伸縮装置の設置が不可欠である。伸縮装置に対しては、広大な栈橋部の温度変化に伴う伸縮、埋立部の土圧による接続部護岸の水平変位、地震動による動的な変位などによる相対変位に対する追従性能、航空機荷重の繰返し作用に対する強度・耐久性や、航空機の走行性の確保、維持管理性などが要求される。

D滑走路では、伸縮装置を適用する部位として、滑走路・誘導路、着陸帯・誘導路帯・滑走路端安全区域、場周道路・保安道路などがあり、それぞれの部位に求められる要求性能に応じて、ローリングリーフジョイント（以下、Rジョイント）、Sジョイント、DPジョイント、モジュラージョイント（以下、Mジョイント）の4種類の伸縮装置を使い分けている。このうち、滑走路・誘導路に用いたRジョイントは、ポルトガルのフンシャル空港の滑走路で使用されている実績があり、また国内においても大変位への追従性が必要となる長大橋梁において多数の実績のあるものである。このRジョイントをD滑走路に適用するにあたっては、水平2方向の大変位への追従性、航空機荷重の繰返し作用に対する疲労耐久性などを、実機の試験体を用いた性能確認試験で確認した。本稿は、D滑走路における伸縮装置の選定、性能確認試験と設計及び製造・施工、そして維持管理の計画について報告するものである。

2. 伸縮装置の選定

2-1 滑走路に適用可能な伸縮装置の選定

空港滑走路に伸縮装置が適用された事例として、ニューヨークのラガーディア空港とポルトガルのフンシャル空港の2例がある。このうち、フンシャル空港では、滑走路平行方向530mm、滑走路直角方向±225mmの2方向変位に対応したRジョイントが用いられている。D滑走路に適用する伸縮装置の形式選定にあたっては、これらの事例調査等をもとに、表-1に示したRジョイント、フィンガージョイント、Mジョイントについて比較検討を行なった結果、Rジョイントの適用が最適であると判断した。

表-1 滑走路に適用する伸縮装置の形式選定

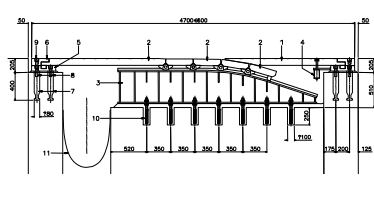
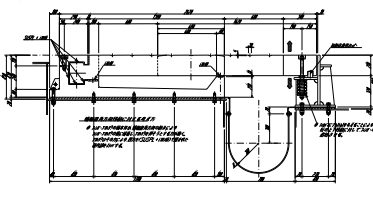
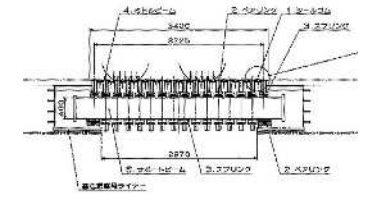
	ローリングリーフジョイント	フィンガージョイント	モジュラージョイント
			
変位追従	・2方向の変位に追従が可能。	・2方向の大変位への追従が困難。	・2方向伸縮装置として道路橋の実績多い。
航空機荷重	・問題ない（実績あり）	・問題ない（実績あり）	・滑走路での実績がなく、航空機荷重に対する設計が困難。
走行性	・固定板先端の段差20mm以下で問題なし。	・走行性に優れる。	・特に問題なし。
維持管理	・装置の点検、交換が容易である。	・フィンガーの隙間の清掃（目詰まり） ・フィンガー部の疲労耐久性	・表面がシールされ、水密性に優れる。下方からの視視点検が可能である。 ・装置の交換が大掛りで交換が困難。
実績	フンシャル空港	ラガーディア空港	無し
評価			—

表-2 D滑走路における4形式の伸縮装置の配置選定

形式	R ジョイント	S ジョイント	DP ジョイント	モジュラージョイント(M)
断面図				
形状寸法	長さ 4620mm 段差 20mm 以下(固定板先端)	2380mm 45mm(渡り板先端)	2900mm 16mm(固定板先端)	1940mm —
変位追従	滑走路方向 ±60cm 直角方向 ±60cm	±60cm ±60cm	±60cm ±60cm	±60cm ±60cm
耐荷性能	航空機 自動車		×	×
防食	塗装	塗装	塗装	塗装 シールにより水密性が良
耐用年数	40年	40年	40年	40年
維持管理(点検)	路面板を外して内部点検可能	路面板を外して内部点検可能	路面板を外して内部点検可能	装置下からの内部点検可能
構造物との取合い	支持架台を設置するスペースが必要	装置高さが低いため、薄い部材にも設置可能	装置高さが低いため、薄い部材にも設置可能	装置高さが高いため、薄い部材には設置できない
経済性	コスト高	コスト小	コスト中	コスト高
適用場所	滑走路・誘導路	着陸帯・誘導路帯・滑走路端安全区域	場周道路(PC 渡り桁)	場周道路橋(鋼桁)
適用場所選定理由	・航空機荷重への耐荷性 ・航空機の走行性(段差小)	・経済性 ・段差に対する制約が小	・設置するPC桁への取合い ・コスト	・鋼桁に対する水密性

2-2 D滑走路の各部位における伸縮装置の形式選定

D滑走路の各部位における伸縮装置の形式選定を表-2に示す。航空機が常時走行する滑走路・誘導路では、航空機荷重に対する耐荷性に優れ、かつ段差が小さいRジョイントを採用した。また、航空機が逸走時に走行する着陸帯・誘導路帯・滑走路端安全区域では、段差の制約が滑走路に比べ緩いことから、構造が単純で維持管理性に優れコスト的にも有利なSジョイント(SはSingleの略)を採用した。自動車が走行する場周道路・保安道路では、取付部がPC渡り桁である埋立/棧橋接続部と滑走路端継手部では装置高さの低いDPジョイント(DPはDouble Plateの略)を、また取付部が鋼桁となる場周道路橋梁及び保安道路橋には水密性

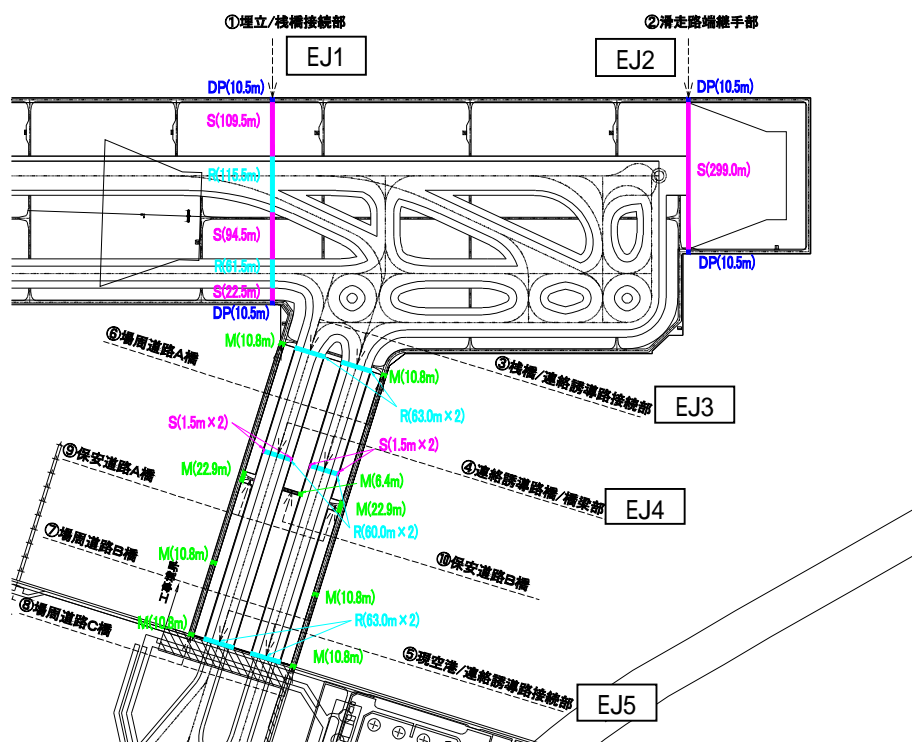


図-1 各種伸縮装置の配置

に優れたMジョイントを採用した。各伸縮装置の適用位置を図-1に示す。

3. 各伸縮装置の構造

3-1 Rジョイントの構造

滑走路・誘導路に使用したRジョイント(図-2)は、渡り板と4枚の滑り板及び固定板から構成される路面板が、橋軸方向及び橋軸直角方向の変位に対して支持架台上面を滑らかに滑ることによって相対変位を吸収するもので、 $\pm 60\text{cm}$ の2方向の変位に追従可能である。滑り板上面と固定板先端部下面とは同じ半径を有する曲面になっており、固定板の先端の段差は20mm以下に抑えられている。また、表面には排水性のための溝切りがなされている。Rジョイントは橋軸直角方向に幅1.5mで分割されており、路面板の取外しが容易である。

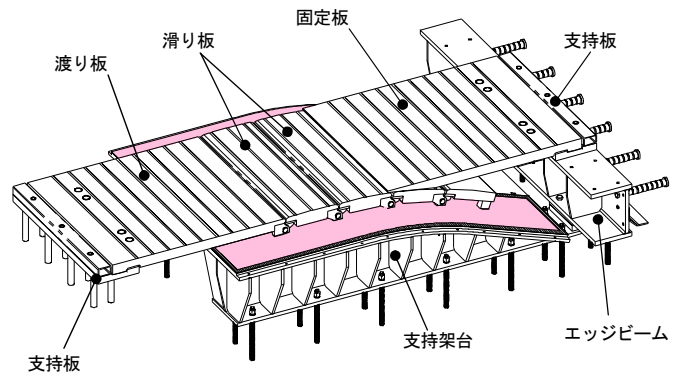


図-2 Rジョイント

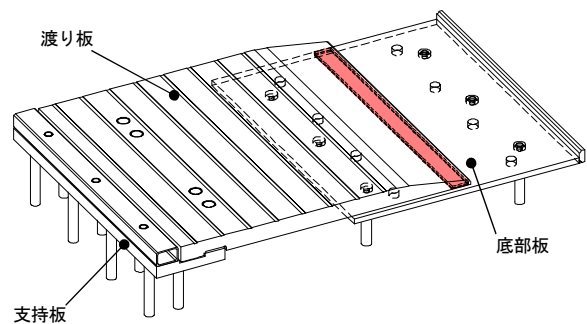


図-3 Sジョイント

3-2 Sジョイントの構造

着陸帯・誘導路帯に使用するSジョイント(図-3)は、可動側に取り付けた1枚の渡り板が固定側の底部板上を滑ることによって $\pm 60\text{cm}$ の相対変位を吸収するものである。渡り板の板厚や渡り板を固定する支持板の構造はRジョイントと同じ条件で設計されている。渡り板先端の段差については着陸帯・誘導路帯への適用に限定していることから、50mm以下としている。

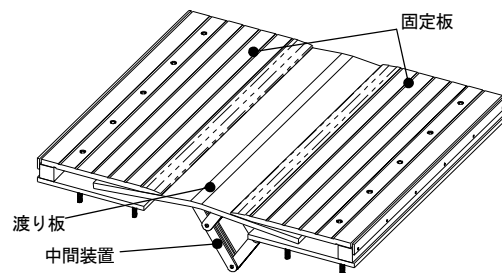


図-4 DPジョイント

3-3 DPジョイントの構造

場周道路(PC渡り桁)に使用するDPジョイント(図-4)は自動車を対象としており、可動側と固定側のそれぞれに設置した固定板と、中間装置で支持された渡り板を配置した伸縮装置で、渡り板が底部板の上を滑ることによって $\pm 60\text{cm}$ の相対変位に追従できる。渡り板自体は底部板で支持された単純支持板であり、中間装置との連結部分は鉛直荷重を伝達しない構造となっている。中間装置は渡り板に作用する水平荷重の伝達と渡り板の平面位置の確保を目的としている。

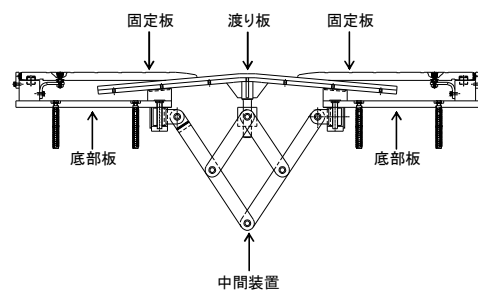


図-5 Mジョイント

3-4 Mジョイントの構造

場周道路橋(鋼桁)に使用するMジョイント(図-5)は道路橋の2方向伸縮装置として実績が多い形式で、スライディングベアリング、スライディングスプリングを介してサポートビームに支持されたミドルビームが、水平2方向、回転に対して

追従するものである。ミドルビーム間には止水ゴムが取り付けられており、止水性が確保されている。

4. R ジョイントの実機試験体による性能確認試験

4-1 試験の目的

伸縮装置に関して、要求水準書では、「伸縮装置の変形性能及び強度・耐久性については、類似事例の実績または試作品による変形性能及び強度・耐久性試験により証明すること」と規定されている。R ジョイントはフンシヤル空港の滑走路で実績があるものの、D滑走路の場合には、フンシヤル空港に比べて地震時の相対変位が大きいこと、航空機の走行回数が多く疲労耐久性が問題となることから、フンシヤル空港の実績だけではD滑走路の伸縮装置の性能評価には十分でないと判断し、D滑走路に適用する伸縮装置と同じ実機の試験体を製作して、変形追従性試験（動的加振試験）、静的荷重載荷試験、疲労試験を実施した。

4-2 試験体及び試験装置

R ジョイントの性能確認試験は、フンシヤル空港の伸縮装置を製造・納入した実績を有するイタリアの Alga SPA 社の試験室で実施した。R ジョイントの試験体は、実機と同じ形状寸法（全長 4.62m、幅員 1.5m）の伸縮装置を2基並べたものである。試験体を写真-1 に示す。また、変形追従性試験には最大ストローク 1300mm のアクチュエータ2台を使用した。

4-3 変形追従性試験

変形追従性試験の実施条件を表-4 に示す。基本設計における埋立／栈橋接続部の地震時動的解析（FLIP）の結果、地震時に必要な変位吸収量が $\pm 60\text{cm}$ と想定されたことから、最大変位 60cm の正弦波及び地震波による動的試験を実施した。変形追従性試験の結果、 $\pm 60\text{cm}$ の2方向の相対変位に対して、R ジョイントがスムーズに追従できることを確認した。

4-4 静的荷重載荷試験

静的載荷試験では、鉛直荷重 456kN（LA-1 相当の輪荷重、荷重係数 2.0）、直角方向水平荷重 114kN（高速脱出誘導路における遠心荷重を想定）を試験体に作用させ、変形（たわみ）やひずみを計測した。また、FEM 解析を実施し、試験で測定されたたわみやひずみから換算した応力が解析値とほぼ整合していることを確認した（表-4）。

4-5 疲労試験

疲労試験では、鉛直荷重 342kN（LA-1 相当の輪荷重、荷重係数 1.5）を 250 万回、滑走路方向水平荷重 182kN（制動荷重）を 125 万回作用させ、試験後に鋼板や溶接部を観察して、亀裂等が発生していないことを確認した。



写真-1 R ジョイント試験体

表-3 試験条件

項目	試験条件	
変形追従性試験	入力波	正弦波及び地震波
	加震方向	X 方向、Y 方向、XY2 方向
	最大振幅	30cm、60cm
静的荷重載荷試験	載荷荷重	鉛直荷重載荷：456kN LA-1 相当の輪荷重 228kN/輪 荷重係数 2.0 水平荷重載荷：114kN（直角方向） 高速脱出誘導路における遠心荷重
	載荷位置	渡り板、滑り板、固定板など5箇所
疲労試験	載荷荷重	鉛直荷重載荷：342kN LA-1 相当の輪荷重 228kN/輪 荷重係数 1.5 水平荷重載荷：182kN（滑走路方向） 制動荷重
	載荷回数	250 万回
	載荷位置	渡り板、滑り板、固定板など5箇所



写真-2 静的載荷試験（鉛直載荷）

表-4 静的荷重載荷試験結果と FEM 解析値との比較

荷重載荷位置	たわみ(mm)		応力 (N/mm ²)	
	実験値	解析値	実験値	解析値
固定板 中央部	2.2	1.5	86	136
固定板 先端部	0.3	0.02	72	83
滑り板 中央部	2.0	1.6	120	150
渡り板 縁端部	4.0	3.0	146	160

注) 応力は X 方向、Y 方向の応力の 2 乗平均値 $\sqrt{(x^2 + y^2)}$ とした。

5. 伸縮装置の設計

5-1 設計方針

各ジョイントの設計は、滑走路、着陸帯、場周道路といった各伸縮装置を適用する部位の設計条件を考慮した。Rジョイントは、埋立/棧橋接続部の滑走路・高速脱出誘導路と平行誘導路、及び連絡誘導路に適用され、部位ごとに航空機荷重（衝撃係数）や載荷回数が異なるが、荷重条件及び通過回数が最も厳しい滑走路・高速脱出誘導路の条件に対して設計し、誘導路に用いる R ジョイントに対してもそれと同一仕様とした。また、耐用年数については 40 年とし、航空機の通過回数が最も多い滑走路においては中央帯とショルダー部の R ジョイントを 20 年目に入れ替える計画（ローテーション）とし、疲労照査においては 20 年間分の航空機通過回数を考慮した。

5-2 設計条件

(1) 変位条件

伸縮装置の伸縮量は、棧橋の温度変化による伸縮や地震時の動的解析結果を踏まえて表-5 の通りとした。レベル 2 地震時に 2m を超える大きな護岸変位が発生する可能性のある埋立/棧橋接続部 (EJ1) と現空港接続部 (EJ5) では、伸縮装置だけでこのような大変位を吸収することは困難なことから、伸縮装置を設置する台座コンクリートを壊すことによって、本設構造物（渡り桁、護岸、PC 梁スラブなど）の崩壊を防ぐノックオフ構造を採用した。残りの EJ2~EJ4 についてはレベル 2 地震時の構造物間の相対変位を吸収できる伸縮量を確保した。

表-5 伸縮量の設計条件

条件	部位	想定伸縮量
常時 (温度変化時)	EJ1~EJ5	± 30cm (橋軸方向、橋軸直角方向とも)
地震時	EJ1,EJ5	レベル 1 地震：± 60cm (橋軸方向、橋軸直角方向とも) レベル 2 地震：ノックオフ構造で対応
	EJ2、EJ3、EJ4	レベル 2 地震：± 60cm (橋軸方向、橋軸直角方向とも)

EJ1~EJ5 の場所については図-1 参照のこと。

(2) 荷重条件

航空機荷重を表-6 に、また R ジョイントの設計で考慮した各荷重条件を表-7 に示す。要求水準書における衝撃係数は、高速走行をする区域（滑走路・高速脱出誘導路）では $i=0.4$ 、低速走行をする区域（平行誘導路、連絡誘導路）では $i=0.3$ であるが、道路橋示方書では鋼製フィンガージョイントの衝撃係数を $i=1.0$ としていること、フンシャル空港の R ジョイントの設計においても $i=1.0$ としている実績を踏まえて、D 滑走路の R ジョイントの設計に用いる衝撃係数は $i=1.0$ を採用した。

表-6 設計で考慮した航空機荷重

	航空機	離陸時		着陸時		年間 離陸回数 [回/年]	年間 着陸回数 [回/年]
		最大重量 [ton]	最大輪荷重 [kN/輪]	最大重量 [ton]	最大輪荷重 [kN/輪]		
国内線	A380-800D	400	187	275	129	5,000	2,000
	B747-400D	278	165	260	154	15,000	4,000
	B777-200	244	190	202	158	23,000	7,000
	B767-300	143	167	136	159	27,000	8,000
	B737-400	70	157	56	126	10,000	3,000
国際線	DHC-8-400	28	65	27	63	1,000	1,000
	A380-800	400	187	275	129	1,000	0
	B747-400	396	228	286	165	2,000	1,000
	B777-200ER	294	228	192	149	1,000	0
	B767-300ER	181	208	145	166	3,000	1,000

表-7 R ジョイントの設計で考慮した荷重条件

	荷重係数	設定根拠
衝撃荷重	i=1.0	道路橋示方書の鋼製フィンガージョイントの設計、及びフ ンシヤル空港の実績 による
制動荷重	摩擦係数 0.8 を考慮	要求水準書による
水平直角方向荷重	衝撃荷重の 5% を考慮	フンシヤル空港の設計実績による
遠心荷重 (高速脱出誘導路)	$F = \frac{mV^2}{127R}$	道路橋示方書の遠心荷重による。 m : 航空機の質量、 V : 航空機速度 (=93km/h)、R : 回転半径 (m)
疲労荷重	衝撃係数の 50%	「鋼道路橋の疲労設計指針」による

フンシヤル空港の R ジョイントは、航空機が着陸する区域に設置されているため i=1.0 が採用された。

(3)疲労条件

R ジョイントの耐疲労性に対しては、LA-1 荷重 (輪荷重 342kN) を路面板の応力が厳しくなる位置に 250 万回載荷させた疲労試験により確認済みであったが、要求水準書では、LA-1 以外の航空機荷重も含めて通過回数が与えられたことから、要求水準書に規定された航空機機種及び通過回数を考慮した疲労照査を実施することとした。1 基の伸縮装置上を

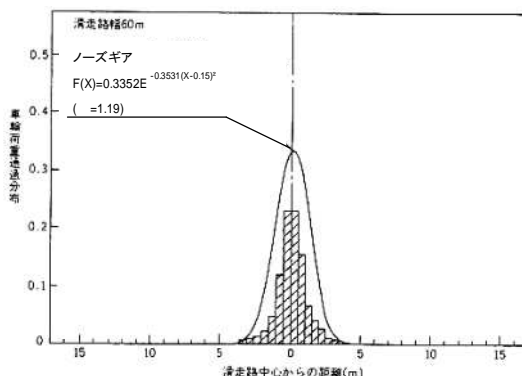


図-6 航空機の通過位置の確率分布関数

表-8 滑走路部の伸縮装置上を走行する車輪の通過回数 (20 年間)

分類	機材	離着陸別	輪荷重 [kN/輪]	設計疲労荷重 (代表値) ※ [kN/輪]	伸縮装置1基に車輪が 1輪載る場合		伸縮装置1基に車輪が 2輪同時載る場合	
					1年間	20年間	1年間	20年間
グループ1	B747-400	離陸	228	342	8,000	16 万回	1,200	2.4 万回
	B777-200ER	離陸	228					
	B767-300ER	離陸	208					
グループ2	A380-800D	離陸	187	285	64,000	128 万回	0	0 万回
	A380-800	離陸	187					
	A380-800	着陸	190					
	B777-200	離陸	129					
	B747-400D	着陸	154					
グループ3	B747-400D	着陸	158	251	87,000	174 万回	13,000	26 万回
	B777-200	着陸	167					
	B767-300	離陸	159					
	B767-300	着陸	157					
	B737-400	離陸	126					
	B737-400	着陸	129					
	B747-400	着陸	165					
	B777-200ER	着陸	149					
	B767-300ER	着陸	166					
	DHC-8-300	離陸	65					
DHC-8-300	着陸	63						
合計					159,400	319 万回	14,700	29 万回

※設計疲労荷重は荷重係数1.5(衝撃係数の50%)を考慮した数値である。

走行する航空機車輪の通過回数は、「空港舗装構造設計要領」に記載されているノーズギアの通過位置の確率分布関数(図-6)を用いて算出した。算出された車輪の通過回数を表-8に示す。20年間の通過回数は、車輪が1輪だけ載る場合で319万回、2輪が同時に載る場合で29万回となったが、LA-1相当の荷重についてはそれぞれ16万回、2.4万回であり、疲労試験におけるLA-1の載荷回数よりも少な

いものであった。荷重の小さい航空機の載荷回数が増えたものの、疲労試験の試験条件が十分安全側であったことを確認した。

(4)防食に対する設計方針

伸縮装置には、ISO12944-5 のカテゴリー C5-M、耐久性 H (厳しい海洋環境下で期待耐用年数 15 年) 相当の塗装を行うこととし、装置としての耐用年数 40 年のうち、当初 15 年は塗装により防食し、残り 25 年は腐食しろを考慮する設計とした。気中の腐食速度を 0.1mm/年とし、鋼板の両面が腐食するとして 5mm の腐食しろを考慮した設計とした。

5-3 航空機荷重に対する設計

(1)鉛直荷重 (衝撃荷重) に対する設計

航空機荷重に対する路面板、支持架台、エッジビームの設計では、FEM 解析を用いて鋼材に発生する応力度を算出した。一例として、渡り板の FEM 解析結果を図-7 に示す。

(2)水平荷重の設計

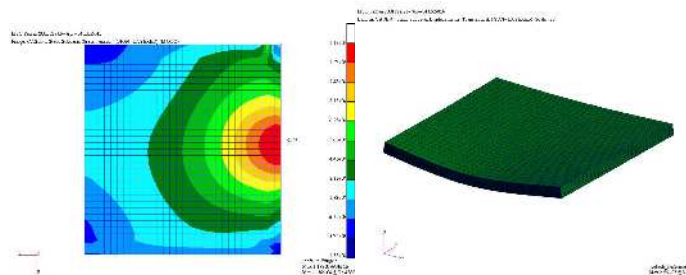
制動荷重、直角方向荷重、遠心荷重といった水平方向の荷重に対しては、部材を結合するピンやコンクリートに埋め込むアンカーボルト等の設計を行った。

5-4 疲労照査

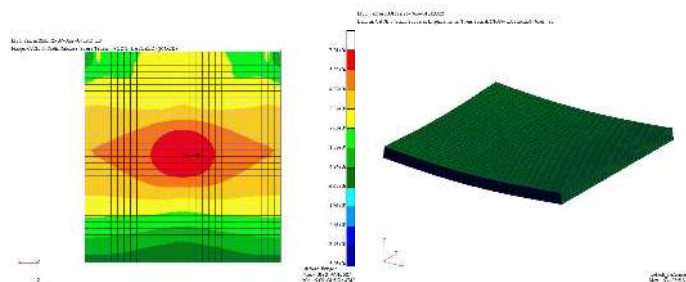
表-8 に示した滑走路部の伸縮装置の 20 年間の繰返し作用に対しては、S-N 曲線による累積疲労損傷度の照査を行った。照査に用いた S-N 曲線は、「鋼道路橋の疲労設計指針 (日本道路協会)」の強度等級 C (200 万回許容応力範囲 125N/mm²) とした。

5-5 ノックオフの設計

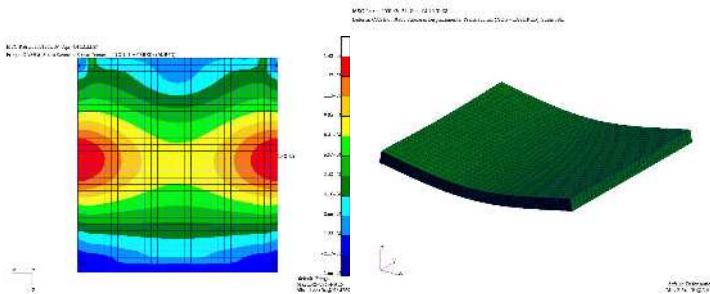
埋立/栈橋接続部 (EJ1) と現空港接続部 (EJ5) では、レベル 2 地震時 (シナリオ地震) に大きな護岸変位が発生し、可動側の構造物 (渡り桁や PC 梁スラブ) と伸縮装置を支持する台座コンクリートとが衝突することから、台座コンクリートにノックオフ構造を採用した。これは、衝突時に台座コンクリートを壊す (滑動させる) ことで本体構造物の崩壊を防ぎ、地震による被害を限定的なものにとどめるためのものである。



縁端部 1 輪載荷 (最大応力 177N/mm²)



中央部 1 輪載荷 (最大応力 94N/mm²)



2 輪同時載荷 (最大応力 211N/mm²)

図-7 渡り板の FEM 解析結果

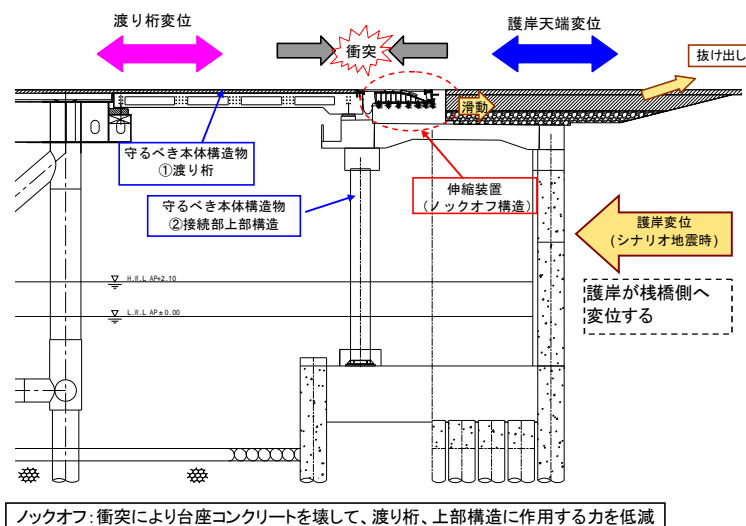
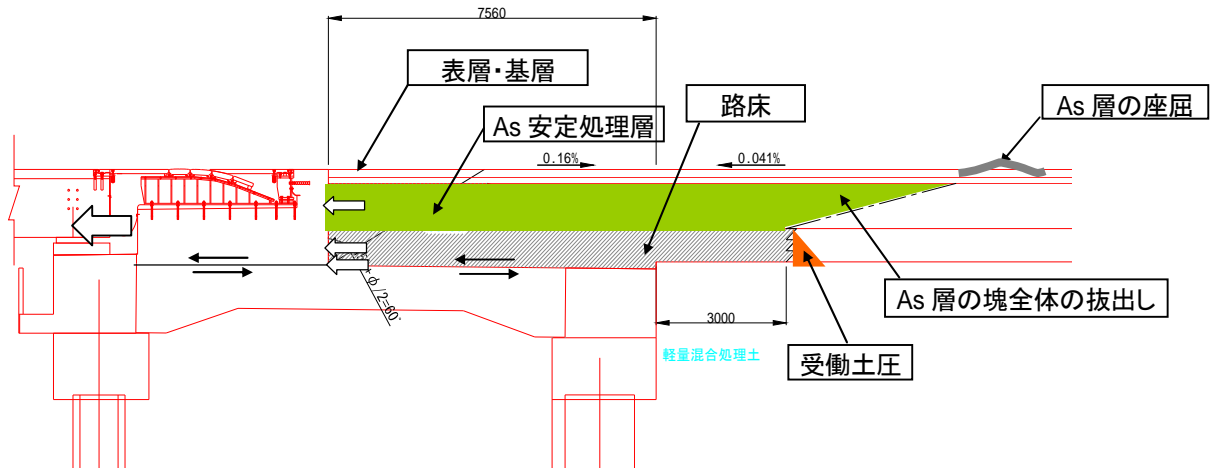


図-8 ノックオフの概念図

表-9 ノックオフ構造の設計方針

常時	台座コンクリートに定着鉄筋やアンカー等は設けず、常時の航空機の水平荷重（制動荷重）に滑動に対しては、台座コンクリートの自重による摩擦力で抵抗する。
レベル2地震時	ノックオフによる抵抗力（台座コンクリートの底面摩擦力、裏込め材・アスファルトの抵抗力、コンクリートせん断キーの抵抗力などの合計値）が、本体構造物の耐力以下となることを照査する。



- ①ノックオフコンクリート底面の摩擦抵抗力
- As層（As安定処理層含む）の抵抗力
- ③路床材の抵抗力
- ④コンクリートせん断キーの抵抗力
- ⑤路床と接続部上部構造の摩擦力

図-9 衝突発生時のノックオフの抵抗力

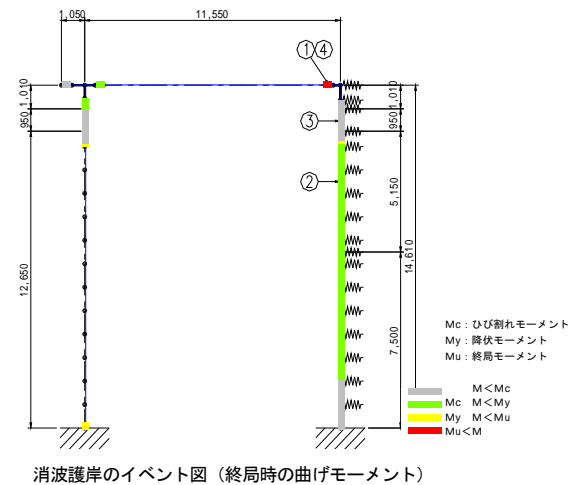
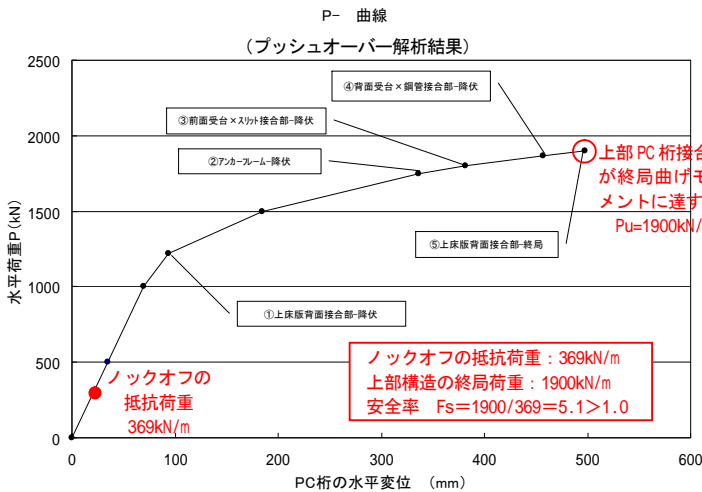


図-10 接続部護岸上部構造（消波護岸）の照査結果

ノックオフ構造となる台座コンクリートの設計方針を表-9に示す。常時に作用する航空機の制動荷重による滑動に対しては、台座コンクリートの自重による底面摩擦力により安定性を確保する設計とした。また、地震時の衝突によるノックオフの設計は、「道路橋の免震設計マニュアル（案）」（建設省）の考え方に従って算出したアスファルト舗装の抵抗力、裏込め材の抵抗力などの合計値（ノックオフの抵抗荷重）が、本体構造物（渡り桁、消波護岸、PC梁スラブなど）の耐力以下であることを照査した（図-9、図-10）。

6. 伸縮装置の製造

伸縮装置の製造は、R ジョイント、S ジョイント、DP ジョイントについてはイタリアの Alga SPA 社で、M ジョイントについては日本国内のメーカーで製造した。ここでは、Alga SPA 社で製造した伸縮装置の製造について述べる。

6-1 伸縮装置の製造体制

Alga SPA 社は橋梁の支承、伸縮装置、制震装置などの製品を取り扱うエンジニアリング企業で、フンシャル空港の R ジョイントの納品実績もある。今回は、伸縮装置の設計、性能確認試験から製造、出荷までを Alga SPA 社が行った。伸縮装置の製造に関しては、Alga SPA 社の製造・品質管理の下、2つの企業（協力会社）が実際の製造（切断、加工、溶接、塗装など）を行った。同一規格の製品を大量に生産することから、R ジョイントは 10 基～12 基を 1 バッチとして、バッチ毎に製造、品質管理を行った。工場での製造は 2008 年 1 月に着手し、製造の初期段階において品質管理の方法などについて Alga SPA 社、工場と JV で綿密に打ち合わせを行って、2008 年 4 月頃から本格的な製造を開始した。製造中は、JV 各工区が完成したバッチの製品検査を行い、進捗状況や品質管理に問題がないかを確認した。工場での製造は 2009 年 9 月に完了した。



支持架台の溶接



滑り板の組立

写真-3 伸縮装置の製造状況

6-2 伸縮装置の品質管理

(1) 品質管理項目

伸縮装置の製造における品質管理項目を表-10 に示す。製造は同一規格の大量生産であるため、各製造バッチごとに所定の頻度で抜取り検査を行うバッチ管理を基本とした。

表-10 伸縮装置の製造における品質管理項目

	検査項目	頻度
材料	材料受入時の書類審査	全数
寸法	切断後の寸法検査	抜取り検査 5%
	曲げ加工後の寸法検査	抜取り検査 5%
	機械加工後の寸法検査	抜取り検査 5%
	路面板の寸法検査	全数
溶接（隅肉）	目視検査	全数
	ヒンジ溶接部の磁粉探傷試験	抜取り検査 20%
	ヒンジ以外の溶接部の磁粉探傷試験	抜取り検査 5%
塗装	サンドブラスト	抜取り検査 5%
	塗装作業記録	全数
	塗装外観検査	全数
	膜厚検査	抜取り検査 5%
組立	仮組試験	抜取り検査（計 12 回）

イタリアメーカーの製品であるため、材料の規格の多くは欧州の EN 規格や ISO 規格に従ったものを使用している。溶接に関しては、ヒンジの取付部や支持架台、エッジビームの組立に隅肉溶接が用いられており、目視検査と磁粉探傷試験（抜取り）を行った。伸縮装置の塗装仕様（ステンレス部品を除く外面露出部）は、ISO 12944-5 (Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems --Part 5: Protective paint systems) のカテゴリーC5-M、耐久性 H に相当する塗装仕様（海洋環境下で期待耐用年数 15 年）とした。

- 第 1 層 75 μm : ジンクリッチ・エポキシプライマー
- 第 2 層 150 μm : 雲母状エポキシ酸化物塗料
- 第 3 層 100 μm : 半光沢アクリル・ポリウレタン塗料

最小乾燥膜厚 : 325 μm

(2) 部品のトレーサビリティ

主要な部品のトレーサビリティのため、製造段階ではバッチと製造番号を示したタグを部品に取り付けて管理した。そして個々の完成品に対しては、識別するための製品番号を示すラベルを取り付けている。これによって、製造から維持管理段階まで、製品のトレースが可能である。

(3) 仮組試験

イタリアの工場において完成した製品を用いた仮組試験を実施し、最終的な製品精度の確認を行った。また、実際の現場での据付けを想定して、据付手順や使用する吊治具などの検討を行った。DP ジョイントについては、ヨーロッパでは実績のある伸縮装置であったが、日本国内での適用は初めてであったことから、動作の状況を視覚的に確認するため動作確認試験も実施した。R ジョイントの仮組試験及び DP ジョイントの動作試験の状況を写真-5 に示す。



製造時の部品識別タグ



完成品の製品番号

写真-4 製品のトレーサビリティ



R ジョイントの仮組試験



DP ジョイントの動作確認試験

写真-5 伸縮装置の仮組試験状況

6-3 伸縮装置の輸送

製造が完了した製品は、コンテナにてイタリアから日本まで海上輸送し、通関後、国内の倉庫、ヤード等で保管した後、据付工程に合わせて現場に搬入した。

7. 伸縮装置の施工

7-1 ノックオフコンクリートの構築

埋立／栈橋接続部の伸縮装置の施工では、台座コンクリート（ノックオフ部）を構築後、伸縮装置の据付を行った。接続部護岸では、伸縮装置据付け後も護岸の水平変位が発生することから、動態観測と自重解析をもとに護岸変位の予測を行なって、台座コンクリートの構築位置を埋立側にオフセットさせた。

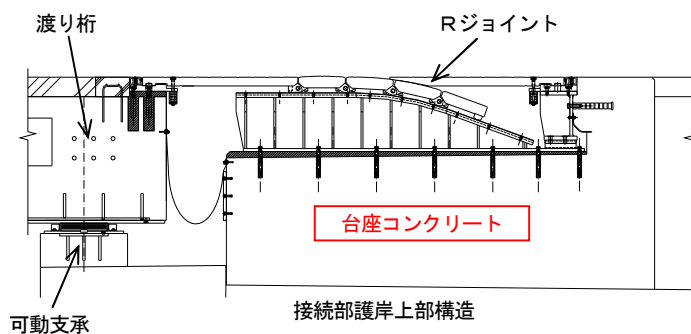


図-11 Rジョイントの台座コンクリート

7-2 伸縮装置の据付

伸縮装置の据付に先立って、国内においても施工性試験（仮組試験）を実施し、作業手順の習得と施工性の把握を行った。また、伸縮装置は部品数が多くそれらのストックに広大な面積を必要とするため、現場での保管スペースが少ない埋立／栈橋接続部では、保管倉庫で部品の仕分けを行い、必要な時に必要な部品だけを現場に搬入することで、現場のスペースを有効に活用した。

台座コンクリート上に設置する支持架台は、その後に据付けるエッジビーム、支持板、路面板などの部品の基準となることから、特に水平位置、高さの据付精度の確保に努めた。支持架台上に、エッジビーム、支持板を順に組み立て、路面板を専用の吊枠を用いて取り付けた。Rジョイントの据付け状況を写真-6に、DPジョイントの据付け状況を写真-7に示す。



支持架台の据付状況



路面板の据付作業状況



Rジョイント設置完了状況

写真-6 Rジョイントの据付状況



写真-7 DPジョイントの据付状況

8. 伸縮装置の維持管理

8-1 伸縮装置の点検

(1) 巡回点検

伸縮装置の点検頻度を表-11 に示す。伸縮装置は、その上を航空機が直接走行する機械製品であるため、変状や損傷等の発生を早期に発見できるよう、滑走路・誘導路については月 1 回の巡回点検（外部点検）を行なう。

(2) 定期点検

伸縮装置の維持管理では、航空機の通過回数の最も多い埋立／棧橋接続部の滑走路中心 20m の範囲と、標高が低く塩分による腐食環境が厳しい現空港接続部の中心 20m の範囲を「重要管理区域」に設定し、定期点検の頻度を他の区域よりも多く設定している。定期点検（内部点検）では路面板を取り外して、装置内部の損傷、変状や塗装の劣化状況を点検する。また、金属同士の接触部や航空機車輪と接する路面など、塗装ができない部位については、定期点検時に擦り減り等による鋼材の減肉量を調査し劣化予測に反映する。

表-11 伸縮装置の点検頻度

点検種別	部位		頻度
巡回点検	滑走路・誘導路		1回/月
	着陸帯・場周道路		1回/年
定期点検	重点管理区域	滑走路中央帯	1年目、3年目、5年目以降は1回/5年
		現空港接続部中央帯	1回/5年
	その他の区域		1回/10年

8-2 伸縮装置の補修計画

伸縮装置の維持管理では、巡回・定期点検の結果をもとに、塗装の劣化箇所のタッチアップ（金属同士の接触部や航空機車輪と接する路面を除く）や、損傷した部品の交換などを行なう。伸縮装置は耐用年数を 40 年と設定しているが、航空機の走行回数の多い滑走路については、20 年程度で滑走路中心付近の R ジョイントとショルダー部の R ジョイントの入れ替え（ローテーション）を行なう（図-12）。

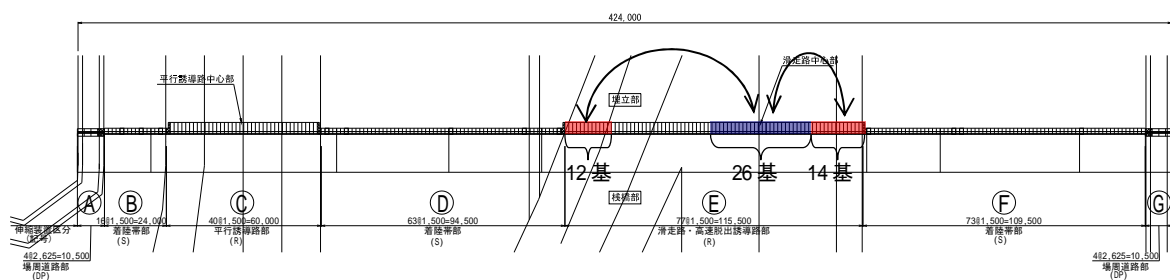


図-12 伸縮装置のローテーション

9. おわりに

総延長で約 1200m にも達する伸縮装置を海外メーカーに発注するということが懸念されたが、製造段階では日本から職員を何度も派遣してメーカーと綿密に打合せを行い、メーカーに製造工程管理と品質管理を徹底させることにより、大きな遅れを生じることもなく無事に製造、施工が完了した。伸縮装置は、維持管理上、重要な施設の 1 つであり、供用後も十分に管理していく所存である。