ISSN 1346-7328

 国総研資料 第680号

 平 成 24 年 3月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.680

March 2012

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による 仙台空港の舗装に関する被害報告

坪川将丈・水上純一・畑伊織・前川亮太

Report on Damages of Pavement at Sendai Airport due to 2011 Tohoku Region Pacific Coast Earthquake

Yukitomo TSUBOKAWA, Junichi MIZUKAMI, Iori HATA and Ryota MAEKAWA



National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による

仙台空港の舗装に関する被害報告

坪川将丈* · 水上純一** · 畑伊織*** · 前川亮太****

要 旨

平成23年3月11日14時46分に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震により,仙台空港 は多大な被害を受けた.著者らは仙台空港の暫定供用開始に向け,滑走路,誘導路及びエプロンの舗 装の被害に関する調査を実施した.その結果,滑走路及び誘導路ではクラックが発生したものの,一 部を除いて暫定供用には支障が無いことを確認した.また,誘導路及びエプロンの一部では液状化に 起因する局所沈下が発生し,暫定供用のためには舗装の打換が必要であることを確認した.

キーワード:地震,空港,アスファルト舗装,コンクリート舗装

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所 電話:046-844-5034, Fax:046-844-4471, E-mail:tsubokawa-y92y2@ysk.nilim.go.jp

^{*} 空港研究部 主任研究官

^{**} 空港研究部 空港施設研究室 室長

^{***} 国土交通省航空局安全部空港安全・保安対策課 技術管理係長

^{****} 独立行政法人港湾空港技術研究所 構造研究領域 空港舗装研究チーム 主任研究官

Report on Damages of Pavement at Sendai Airport due to 2011 Tohoku Region Pacific Coast Earthquake

Yukitomo TSUBOKAWA^{*}, Junichi MIZUKAMI^{**}, Iori HATA **** and Ryota MAEKAWA *****

Synopsis

The 2011 Tohoku Region Pacific Coast Earthquake struck off Tohoku Region of Japan at 14:46 JST on Friday, 11 March 2011. Pavement of Sendai airport was severely damaged due to the earthquake and the tsunami.

We conducted investigation of pavement in runway, taxiway and apron for the purpose of re-opening of the airport. Many cracks were confirmed at asphalt pavement in runway and taxiway. However, it is clarified that these cracks except the one at taxiway were not fatal damage for usage of the runway and taxiway. Large settlement was confirmed at a part of asphalt pavement in taxiway and concrete pavement in apron due to liquefaction. It is confirmed that these settlement areas needed to be reconstructed for re-opening of the airport.

Key Words: earthquake, airport, asphalt pavement, concrete pavement

^{*}Senior Researcher, Airport Department

^{**} Head, Airport Facilities Division, Airport Department

Chief, Engineering Administration, Airport Safety and Aviation Security Division, Civil Aviation Bureau (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism)

Senior Research Engineer, Pavement Research Group, Structural Engineering Research Division (Independent Administrative Institution, Port and Airport Research Institute)

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism 3-1-1, Nagase, Yokosuka 239-0826, Japan

Phone: +81-46-844-5034, Fax: +81-46-844-4471, E-mail: tsubokawa-y92y2@ysk.nilim.go.jp

目	次

1.	はじめに・・・・・	1
2.	地震・津波の概要	1
3.	アスファルト舗装の被害・・・・・	3
	3.1 滑走路	3
	3.2 誘導路	8
4.	コンクリート舗装の被害・・・・・	14
	4.1 エプロン	14
5.	暫定供用開始までの復旧作業・・・・・・	18
6.	結論	20
参	┊考文献・・・・・・・	20

1. はじめに

平成23年3月11日14時46分,仙台空港の東およそ 170kmを震源とするマグニチュード(M)9.0の地震が発 生し、東北地方・関東地方を中心とする東日本の広範囲 に多大な被害をもたらした.震源に近い仙台空港は、地 震動及び津波により大きな被害を受けたため閉鎖を余儀 なくされた.国土交通省航空局は、自衛隊及び米軍等と 連携し、瓦礫の撤去、被災した施設の復旧等の作業を行 い、地震発生から33日後の4月13日に民間航空機を対 象とした供用(以下「暫定供用」という)を開始した.

著者らは、暫定供用前の3月21日から27日の間,主 に空港基本施設(滑走路・誘導路・エプロン等)のアス ファルト舗装及びコンクリート舗装を対象に調査を実施 し、舗装の被害の確認および評価ならびに暫定供用まで に補修すべき箇所の抽出を行った.

本資料は,著者らの調査結果に加え,東京航空局及び 東北地方整備局が実施した調査結果を基に,仙台空港の 基本施設の舗装に関する被害の詳細を報告するものであ る.

2. 地震・津波の概要

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震は,三陸 沖の北緯 38°06.2',東経 142°51.6',深さ 24km を震源 とするマグニチュード (M) 9.0 の地震であった¹⁾. 仙台 空港のある名取市,岩沼市では震度 6 強を観測した.

地震直後の14時47分頃,国土交通省東京航空局仙台 空港事務所の職員が空港内の緊急点検を開始したものの, 14時49分に宮城県沿岸に津波警報(大津波:6m)が発 表されたため,緊急点検を中止し,事務所庁舎へ避難し た.その後,15時14分に予想される津波高さが「10m 以上」に修正され,15時59分頃,津波が仙台空港に到 達した.写真-1に津波到達直後の,写真-2に津波が引い た後の仙台空港の状況を示す.

地震翌日の3月12日14時頃の仙台空港の状況を写真 -3に示す.この時点では,標高の高いB滑走路は既に舗 装面が露出しているものの,着陸帯及びA滑走路周辺が 水没していることがわかる.A滑走路周辺は空港内でも 標高が低いことから,水没した状態が長期間続いたもの と考えられる.

地震発生から2日後の3月13日に津波警報が津波注 意報に切り替えられ、被災した施設の確認が開始された. また3月14日から、瓦礫撤去及び被災した施設の復旧作 業等が開始された.

著者らは、3月21日から27日の間、滑走路、誘導路、 エプロンの舗装の目視調査、コアボーリング調査、FWD による非破壊舗装構造調査を実施した. 仙台空港の全体 図と被災状況を図-1に示す. 以降では、それぞれの被災 について詳述する.



(a) エプロンに到達した津波



(b) エプロンの状況



(c) 駐車場地区の状況 写真-1 津波到達直後の仙台空港の状況



(a) B 滑走路 **写直-2** 津河

(b) エプロン

写真-2 津波が引いた後の仙台空港の状況



写真-3 仙台空港の状況(平成23年3月12日14時頃,国土地理院撮影)



図-1 仙台空港全体図と舗装に関する被災状況

3. アスファルト舗装の被害

3.1 滑走路

仙台空港の2本の滑走路のうちA滑走路については、 津波により空港に漂着した車両の仮置場等に用いられて いたこと、暫定供用のためにはB滑走路の再開が優先さ れることから、B滑走路について調査を実施した.

(1) 目視調査

B 滑走路の目視調査を実施したところ,図-1 に示した 通り,計12本のひび割れが確認された(地震発生前に発 生していたと考えられるひび割れを除く).ひび割れの一 覧を表-1 に示す.ひび割れ幅は最大で5mm程度,段差 はひび割れ R10で5mm程度(写真-4)であり,航空機 の走行の支障になると考えられるひび割れは確認されな かった.また,ほとんどのひび割れは滑走路全幅にわた って横断方向に貫通していた.

B 滑走路で確認されたひび割れのうち, R1, R10, R11 の三か所について, 直径 10cm のコアボーリングを実施 し,採取したコアを観察することでひび割れ深さを確認 した.採取したコアを写真-5 に示す.コアはアスファル ト混合物層(表層,基層,アスファルト安定処理上層路 盤)を貫通するまで採取したため,コアの長さは 36~ 56cm 程度であったが,どのコアにおいてもひび割れはア スファルト混合物層を貫通していることが確認された. また,ひび割れ断面は,アスファルト混合物内の骨材が 割れている状態にはなく,粗骨材間のアスファルトモル タルに沿ってひび割れが発生していた.

全てのひび割れについてコアを採取することはでき なかったものの,ひび割れの特徴が類似していたことか ら,いずれのひび割れもアスファルト混合物層を貫通し ていたと考えられた.

また,空港の地下を南北に縦断する県道と B 滑走路が 交差する箇所(以下,県道周辺部),木曳堀と B 滑走路 が交差する箇所(以下,木曳堀周辺部)については,地 震発生前から液状化の発生が予測されていた箇所である. 地震発生時点では,図-2に示すように,県道周辺部では ボックスカルバートの近傍は地盤改良が実施済であり, 今後,擦付け部の地盤改良が実施される予定であった. また,木曳堀周辺部についてはボックスカルバートの近 傍および擦付け部ともに地盤改良が実施済であった.こ れらの箇所については,段差や局所沈下など,平坦性が 悪化している箇所は確認されなかった.



写真-4 ひび割れ R10 の状況



(a) ひび割れ R1 から採取したコア



(b) ひび割れ R11 から採取したコア写真-5 採取したコアの状況

縦断位置					
ひび割れ名	(西側末端からの距離)	ひび割れ幅	備考		
R1	50m	2mm			
R2	240m	2mm			
R3	700m	記録なし			
RJ1	715m	1mm	滑走路北側の縦断ひび割れ		
R4	R4 720m				
R5	R5 905m				
R6	1,145m	2mm			
R7	1,340m	2mm			
R8	1,470m	2mm			
R9	1,845m	3mm			
R10	1,925m	5mm	段差 5mm		
R11	2,220m	3mm			

表−1 B 滑走路のひび割れ



図-2 B 滑走路の県道周辺部及び木曳堀周辺部の地盤改良実施状況の概要図

地点名					粒状	路床の
		滑走路中心からの		ルト混合	路盤厚	設計
		距離	加考	物層厚		CBR
				(cm)	(cm)	(%)
	R1	6.5m 南	ひび割れ R1 近傍			
	R1E	5.5m 南	ひび割れ R1 から 10m 東	31	56	10
	R2	5.5m 南	ひび割れ R2 近傍	51	50	10
	R2E	5.5m 南	ひび割れ R2 から 10m 東			
	R3	5.5m 北	ひび割れ R3 近傍			
	R3E	5.5m 北	ひび割れ R3 から 10m 東			
	RJ1	7.3m 北	ひび割れ RJ1 近傍			
	R4	5.5m 南	ひび割れ R4 近傍	28	18	18
	R4E	5.5m 南	ひび割れ R4 から 10m 東			
	R5	5.5m 南	ひび割れ R5 近傍			
マレマド生しる	R5E	5.5m 南	ひび割れ R5 から 10m 東			
いい割れ	R6	5.5m 南	ひび割れ R6 近傍	20		
同边部	R6E	5.5m 南	ひび割れ R6 から 10m 東	38 55		10
	R7	5.5m 南	ひび割れ R7 近傍	20	10	
	R7E	5.5m 南	ひび割れ R7 から 10m 東	38 49		10
	R8	5.5m 南	ひび割れ R8 近傍			
	R8E	5.5m 南	ひび割れ R8 から 10m 東			
	R9	5.5m 南	ひび割れ R9 近傍	12	10	10
	R9E	5.5m 南	ひび割れ R9 から 10m 東	42	49	10
	R10	5.5m 南	ひび割れ R10 近傍			
	R10E	5.5m 南	ひび割れ R10 から 10m 東			
	R11	5.5m 南	ひび割れ R11 近傍	20	10	10
	R11E	5.5m 南	ひび割れ R11 から 10m 東	39	49	10
	RW2	4.5m 南	県道西側地盤改良端から 12m 西			
	RW1	4.5m 南	県道西側地盤改良端から 7m 西	29	19	19
	RW0	4.5m 南	県道西側地盤改良端から 2m 西			
	RE0	4.5m 南	県道東側地盤改良端から 2m 東	28	18	18
	RE1	4.5m 南	県道東側地盤改良端から 7m 東			
県道	RE2	4.5m 南	県道東側地盤改良端から12m 東			
周辺部	RW2S	18.0m 南	RW2 から 13.5m 南			
	RW1S	18.0m 南	RW1 から 13.5m 南			
	RW0S	18.0m 南	RW0 から 13.5m 南	25	13	18
	RE0S	18.0m 南	REO から 13.5m 南			10
	RE1S	18.0m 南	RE1 から 13.5m 南			
	RE2S	18.0m 南	RE2 から 13.5m 南			

表-2 B 滑走路における FWD 調査位置(網掛けはひび割れ近傍での載荷)

(2) FWD 調査

目視調査の後,確認されたひび割れ周辺部及び県道周 辺部の荷重支持性能を確認するため,FWDによる非破壊 構造調査を実施した.

調査地点一覧を表-2に示す.調査に使用した FWD は 写真-6に示す車載型の FWD (載荷板直径 300mm) であ り,載荷荷重として最大 250kN まで発生させることが可 能である.今回の調査では,載荷荷重を 200kN とした.

ひび割れ周辺部における FWD 調査は, 図-3 に示すように, ひび割れ近傍及びひび割れから東側に 10m 離れたひび割れが無い位置において実施した. ひび割れ近傍では, FWD の載荷板がひび割れに接するように配置して載荷を実施した. なお, 同一地点で4回の載荷を実施し, 1回目の載荷は予備載荷としてデータは使用せず, 2~4回目のデータの平均値を評価に使用した.

県道周辺部における FWD 調査は,図-4 に示すように, ボックスカルバートの東西両脇の地盤改良実施済範囲の 外側において実施した.

FWD により得られた載荷板中心のたわみ D_0 を用い, 空港舗装補修要領²⁾に示されている方法により評価を実施した.この方法では、まず、実測載荷荷重が地点に応じて 200kN 前後で若干変動することから、標準載荷荷重 を 200kN として荷重補正を行った補正たわみ D_{0-cor} を算出する.次に、FWD 載荷条件、測定地点の舗装厚、舗装 表面温度及び表-3 に示す一般的な材料条件を用いて多 層弾性解析プログラム GAMES³⁾により規準たわみ D_{0-cri} を算出する.最後に、規準たわみ D_{0-cri} に対する補正たわ み D_{0-cor} の比であるたわみ比 R を算出するものである. なお、空港舗装補修要領では、たわみ比が 1.0 を超過し た場合は、何らかの構造的損傷が存在する可能性がある と判断し、詳細調査を実施することとしている.

ひび割れ周辺部における補正たわみを図-5 に, たわみ 比を図-6 に示す. たわみ比は, ひび割れ近傍において 1.0 を若干超過している箇所があるものの, 概ね 1.0 以下で あり, ひび割れから 10m 離れた位置のたわみ比はいずれ も低く, 概ね 0.3~0.7 程度であった.

たわみ比は一部のひび割れ近傍において 1.0 を若干超 過している程度であること,ひび割れから 10m 離れた位 置では小さいことから,暫定供用後の当面の運用に耐え るだけの荷重支持性能は確保されていると考えられた.

次に、県道周辺部における補正たわみを図-7に、たわみ比を図-8に示す.たわみ比は概ね0.7~0.9程度と、図-6に示した滑走路のひび割れ未発生箇所より若干高いものの、荷重支持性能には問題ないものと考えられた.

(3) まとめ

各種調査の結果から,滑走路のひび割れ周辺部及び県 道周辺部の荷重支持性能及び走行安全性能については, 問題ないものと推測された.しかしながら,ひび割れを このまま放置することで雨水が舗装内部に浸透し,荷重 支持性能が低下する可能性があるため,暫定供用前に, アスファルト系のひび割れ充填剤を注入した.ひび割れ 充填剤により処理を実施した後の状況を**写真-7**に示す.



写真-6 調査に使用した FWD



図-3 ひび割れ周辺部でのFWD 載荷位置

表-3 規準たわみ算出における材料条件

項 目	設定値
アスファルト針入度 (1/10mm)	70
アスファルト軟化点 (℃)	48
アスファルト量 (%)	5.5
アスファルト比重	1.04
アスファルト混合物の空隙率 (%)	3.0
アスファルト混合物の密度 (g/cm ³)	2.4
粒状路盤弾性係数 (MPa)	200
	10×CBR (%)



(単位:m)







写真-7 ひび割れ R1 補修状況

3.2 誘導路

(1) 目視調査

平行誘導路及び取付誘導路の目視調査を実施したと ころ,図-1に示した通り,平行誘導路で計11本のひび 割れが確認された(地震発生前に発生していたと考えら れるひび割れを除く).ひび割れの一覧を表-4に示す. ひび割れ幅は最大で3mm程度であり,いずれのひび割 れにおいても段差は確認されなかった.また,ほとんど のひび割れは誘導路全幅にわたって横断方向に貫通して いた. また図-9に示すように,目視調査では①平行誘導路最 西のC1誘導路(以下,C1部),②空港の地下を南北に 縦断する県道と平行誘導路が交差する箇所(以下,県道 周辺部),③木曳堀と平行誘導路が交差する箇所(以下, 木曳堀周辺部)において沈下が確認された.沈下の状況 を写真-8に示す.

沈下が確認された箇所はいずれも地震発生前から液 状化の発生が予測されていたため、地盤改良が順次実施 されている途中であった.具体的には図-10 に示すよう に、地震発生時点では、C1 部と県道周辺部は未改良、木 曳堀周辺部はボックスカルバートの近傍は地盤改良実施 済で、擦付け部が改良途中であった.

写真-8 に示す通り、C1 部及び木曳堀周辺部は沈下量 が小さく凹凸の波長が長いうねりであり、航空機の走行 には支障にならないと考えられた.一方、県道周辺部で は、図-11 に示すように県道のボックスカルバートに沿 って局所的に沈下しており、沈下量は誘導路帯およびシ ョルダーが大きく、これと比較して誘導路本体の沈下量 はやや小さい傾向が確認できた.沈下形状は未計測であ るものの,沈下の幅はボックスカルバートの両側とも5m 程度,沈下の深さはショルダーで数十cm程度であった. なお、写真-8 でショルダーの沈下深さを計測している様 子を示しているが、水平の基準としたアルミポールの長 さが沈下幅より短いため、沈下最深部の正確な深さは測 定できていない.この箇所は沈下が局所的且つ深いこと から、航空機の走行に支障があると考えられた.

ひび割れ名	誘導路名	ひび割れ幅	備考
T1	C1	1mm	
T2	C1	2mm	
Т3	C1	3mm	
T4	C1	1mm	
T5	C5	1mm	
Τ6	C5	1mm	
Τ7	C5	1mm	T8 から 2.5m 西側
Т8	C5	1mm	T7 から 2.5m 東側
Т9	C5	1mm	
T10	C5	2mm	
T11	C5	1mm	

表-4 誘導路のひび割れ

国総研資料No.680



図-9 平行誘導路における沈下確認位置







(単位:m)

図-11 県道周辺部における局所沈下発生位置および FWD 載荷位置



(a) C1 部のうねり

(b) 木曳堀周辺部のうねり



(c) 県道周辺部のショルダー



(d) 県道周辺部のショルダー



(e) 県道周辺部のショルダー(手前)と誘導路



(手前)と誘導路 (f)県道周辺部のショルダー(左)と誘導路写真-8 平行誘導路の局所沈下の状況

地点名		滑走路中心からの 距離 備考		アスファ	粒状	路床の
			/#= #_	ルト混合	路盤厚	設計
			佣石	物層厚		CBR
				(cm)	(cm)	(%)
	T1	5.5m 北	ひび割れ T1 近傍			
	T1E	5.5m 北	ひび割れ T1 から 10m 東			10
	T2	5.5m 北	ひび割れ T2 近傍			
	T2E	5.5m 北	ひび割れ T2 から 10m 東	30	56	
	Т3	5.5m 北	ひび割れ T3 近傍	50	50	
	T3E	5.5m 北	ひび割れ T3 から 10m 東			
	T4	5.5m 北	ひび割れ T4 近傍			
	T4E	5.5m 北	ひび割れ T4 から 10m 東			
	T5	5.5m 北	ひび割れ T5 近傍	20	40	10
てんてド生した	T5E	5.5m 北	ひび割れ T5 から 10m 東	39 49		10
国辺辺	T6	5.5m 北	ひび割れ T6 近傍			
问应即	T6E	5.5m 北	ひび割れ T6 から 10m 東			
	T7	5.5m 北	ひび割れ T7 近傍			
	T8	5.5m 北	ひび割れ T8 近傍	39 55		
	T8E	5.5m 北	ひび割れ T8 から 10m 東			
	Т9	5.5m 北	ひび割れ T9 近傍		55	10
	T9E	5.5m 北	ひび割れ T9 から 10m 東			
	T10	5.5m 北	ひび割れ T10 近傍			
	T10E	5.5m 北	ひび割れ T10 から 10m 東			
	T11	5.5m 北	ひび割れ T11 近傍			
	T11E	5.5m 北	ひび割れ T11 から 10m 東			
	KD7	5.5m 南	KD0 から 10m 西			
	KD6	5.5m 南	KD0 から 5m 西			
	KD0	5.5m 南	県道西側沈下最深部			
	KD1	5.5m 南	KD0 から 5m 東			
県道	KD2	5.5m 南	KD3 から 10m 東	27	10	10
周辺部	KD3 5.5m 南	5.5	県道東側沈下最深部	27 18		18
		5.5m 南	(KD0 から 16.6m 東)			
	KD4	5.5m 南	KD3 から 5m 西			
	KD5	5.5m 南	KD3 から 10m 西			
	KD0S	11.0m 南	KD0 から 5.5m 南			

表-5 誘導路における FWD 調査位置(網掛けはひび割れ近傍での載荷)

(2) FWD 調査

0.5

0.0

T1 T2 T3

図-13

目視調査の後,ひび割れ周辺部及び県道周辺部の荷重 支持性能を確認するため,FWDによる非破壊構造調査を 実施した.

調査地点一覧を表-5 に示す. 調査に使用した FWD は 滑走路の調査で用いたものと同型であり, 調査の方法も 滑走路での調査と同様とした. また, 県道周辺部におけ る FWD 調査は, 図-11 に示すように, ボックスカルバー ト近傍の局所沈下部を横断するように載荷位置を設定し た.

ひび割れ周辺部における補正たわみを図-12 に,たわみ比を図-13 に示す.たわみ比は,ひび割れ近傍のいくつかで1.0を超過しており,特にひび割れ T8 のたわみ比は非常に大きい状態であった.また,ひび割れ近傍から10m離れた位置のたわみ比はいずれも低く,概ね 0.5 程度であった.

たわみ比が大きいひび割れT8はひび割れT7から2.5m 程度しか離れておらず,過去に航空灯火用の埋設管等を 埋設した際に局所的に打換えられた舗装であると考えら れた.よって,ひび割れ T7 とひび割れ T8 の間について は,暫定供用後の航空機の走行により,局所的に荷重支 持性能が低下する可能性があるため,暫定供用前に上層 路盤まで切削し,舗装を打換えるのが妥当と考えられた. その他のひび割れについては,暫定供用後の当面の運用 に耐えるだけの荷重支持性能は確保されていると考えら れた.

県道周辺部における補正たわみを図-14 に,たわみ比 を図-15 に示す.ボックスカルバート両脇の沈下最深部 である KD0 及び KD3 ではたわみ比が 1.2 程度であり, KD0 よりもショルダーに近い KD0S では,たわみ比が 3.0 程度であった.目視における局所沈下量は,前述のとお り誘導路帯とショルダーでは誘導路本体より大きいこと から,ショルダーに近い KD0S では誘導路中心線に近い KD0 よりもたわみ比が大きくなったと考えられた.しか しながら,これら以外の箇所ではたわみ比は 0.6~0.8 程 度であることから,局所沈下の影響はボックスカルバー トの東西両脇に限定されると考えられた.



T4 T5 T6 T7

測点名

ひび割れ周辺部のたわみ比

T8 T9 T10 T11



図-14 県道周辺部の補正たわみ



(3) まとめ

各種調査の結果から,県道周辺部については走行安全 性能及び荷重支持性能に問題があり,ひび割れ T7・T8 については荷重支持性能に問題があると考えられた.こ のため,これらの箇所については暫定供用前の3月30 日から4月10日にわたり,既設舗装を粒状下層路盤上面 まで切削し,アスファルト安定処理上層路盤 (15cm), 基層 (7cm),表層 (8cm)を舗設した.打換範囲の平面 図を図-16,図-17に,打換え実施の状況を写真-9,写真 -10に示す.また,他のひび割れについては滑走路と同 様に,暫定供用前にひび割れ充填剤による補修が実施さ れた.



(単位:m)

図-16 県道周辺部の打換範囲



(単位:m)

図-17 ひび割れ T7 及び T8 周辺部の打換範囲



写真-9 県道周辺部の打換



写真-10 ひび割れ T7 及び T8 周辺部の打換

4. コンクリート舗装の被害

4.1エプロン

(1) 目視調査

エプロンは無筋コンクリート舗装(エプロン誘導路の 一部は PPC 舗装)であり,路盤の設計支持力係数は 70MN/m³, コンクリート版厚は 42cm である.

エプロンの目視調査を実施したところ,東側の1番, 2番,3番スポットにおいて多数のひび割れ及び局所沈下 が確認された.ひび割れの位置及びエプロンの高さを図 -18に,ひび割れの状況を写真-11に,局所沈下の状況を 写真-12に示す.エプロン高さは各コンクリート版の隅 角部において測量を行ったものである.

ひび割れ幅は最大で 3mm 程度であり、いずれのひび 割れにおいても段差は確認されなかった. また、コンク リート舗装の目地についても段差は確認されなかった.

局所沈下部については、写真-12 に示すように、3 月 25 日夜間から 26 日早朝にかけての少量の降雨(累計降 水量10mm以下)によって水たまりが発生する状況であ った.このエプロンでは、図-18 における 15 列と 16 列 の版の目地を境としてターミナル側及び B 滑走路側に向 けてそれぞれ 0.5%の下り勾配が確保されていたが、図 -18 を見ると、1 番スポット東側付近、2 番スポット中心 線付近および 2 番スポットと3 番スポットの中間におい て大きく沈下していた.

コンクリート版に発生した多数のひび割れは局所沈 下部周辺に集中していたことから,これらのひび割れは 地震動により発生したものではなく,地盤が液状化し, 版が大きく局所沈下したことに起因して発生したと考え られた.



図-18 ひび割れとエプロン高さの平面図(升目は一枚のコンクリート版(7.5m×7.5m)を示す)



写真-11 ひび割れの状況





(a) 図-18のJ12からK11側を撮影
 (b) 図
 写真-12 局所沈下の状況

(b) 図−18 の G6 から F5 側を撮影 下の状況

(2) FWD 調査

目視調査の後,ひび割れや局所沈下が確認された1番, 2番,3番スポットを中心に,荷重支持性能を確認するため,FWDによる非破壊構造調査を実施した.

調査に使用した FWD は滑走路の調査で用いたものと 同型であり,調査の対象とした版の中央部及び目地部に おいて載荷を実施した.載荷荷重は 200kN とした.

版中央部で実施した FWD 調査の結果として,標準荷 重を 200kN として補正した D_0 たわみを図-19 に示す.図 では,補正たわみが解析たわみ(版厚 42cm,路盤支持力 係数 70MN/m³, FWD 載荷荷重 200kN, FWD 載荷版直径 30cm の条件で二次元有限要素解析プログラム CPfor⁴⁾に より解析した D_0 たわみである 320µm)を超過した版に ついては網掛で示している.補正たわみは2番スポット と3番スポットの局所沈下部周辺で非常に大きいが,こ の原因としては,液状化に起因する空洞がコンクリート 版下に存在していることが考えられた.

版目地部で実施した FWD 調査の結果として、目地部 における荷重伝達率を図-20 に示す.荷重伝達率は最小 値 80.4%,平均値 91.4%であり、補修要領に記載のある 荷重伝達率 85%を下回る箇所はあるものの、おおむね良 好な荷重伝達率を維持していた.

目地部のダウエルバーが損傷していない場合は,目地 部直下に空洞が存在していたとしても,FWD 荷重を載荷 した版のたわみのみならず,載荷していない隣接版のた わみも大きくなるため,荷重伝達率は高い値となる.こ のため,荷重伝達率は空洞の有無の指標にはなりえない と考えられるが,目地に挿入されているダウエルバーの 荷重伝達機能はほぼ問題ないものと考えられた.





(単位:μm)

図-19 FWD 調査位置と補正たわみ(升目は一枚のコンクリート版(7.5m×7.5m)を示す)

(3) まとめ

各種調査の結果から,1番,2番,3番スポット周辺は 荷重支持性能及び走行安全性能に問題があると考えられ た.破損の状況から,これらの性能を回復させるために はコンクリート版を打換する必要があると考えられたが, 暫定供用までにこれらの版を打換することは極めて困難 であるため,1番,2番,3番スポットは当面閉鎖し,暫 定供用後,コンクリート版の打換を行うのが妥当と考え られた.

(4) 暫定供用後の追加調査

4月13日の暫定供用後,版下に発生していると推測された空洞の確認を目的とし,局所沈下したコンクリート版2枚(図-18におけるF3およびK9)でコアボーリン

グを実施したところ, F3 で 7cm, K9 で 20cm 程度の空洞 が確認された.また, K9 については版を撤去して状況を 確認した.撤去後の状況を写真-13 に示す.

この調査の後、3番スポットについては、7月25日に 予定されていた国際線臨時便就航開始に間に合わせるた め、写真-14 に示すようにカッターによりコンクリート 版をサイコロ状に切断することで人為的に落下(落下し ない版は、切断後にタイヤローラを走行させることで落 下)させることで空洞を埋め、その上にアスファルト混 合物を舗設して暫定復旧させた.

なお,1番,2番,3番スポットについては,平成23 年度末完了予定で,地盤改良工事及びコンクリート舗装 打換工事による本格復旧作業を実施中である.



(a) コンクリート版撤去状況



(b) 隅角部の状況



(c) 目地部の状況
 (d) 目地部での空洞厚計測
 写真-13 コンクリート版下の空洞の確認



(a) カッターによる版切断 **写直-1**4

初断 (b) 舗設後 写真-14 3番スポットの暫定復旧作業

5. 暫定供用開始までの復旧作業

地震発生直後からの仙台空港の復旧作業を時系列に まとめたのが表-6 である.暫定供用開始に向けた復旧作 業は次の三段階に分けて実施された.

5.1 第一段階

緊急物資輸送及び救難活動用のヘリコプターの離着 陸用として, B 滑走路の東側 600m 及びエプロンの一部 の供用開始を目標として瓦礫撤去等が実施され,地震発 生から4日後の3月15日に当該範囲の供用が開始された.

5.2 第二段階

緊急物資輸送のための固定翼機の離着陸用として,B 滑走路の東側 1,500m の供用開始を目標として瓦礫撤去 等が実施され,地震発生から5日後の3月16日に当該範 囲の供用が開始された.

その後も継続的に瓦礫撤去等が実施され,地震発生から18日後の3月29日にB滑走路の3,000mの供用が開始された.

5.3 第三段階

民間航空機を対象とした暫定供用開始を目標として, 津波で流された場周柵の復旧(写真-17),前述したひび 割れの補修,平行誘導路の舗装の打換,必要な機器の復 旧等が実施され,地震発生から33日後の4月13日に国 内線臨時便が就航し,東京国際空港からの第一便が着陸 した.



写真-15 自衛隊ヘリコプターの着陸



写真-16 米軍固定翼機の着陸

口付	地震発生からの	車角 , 社内		
口们	経過日数	争家・ 対応		
		14:46 地震発生		
		14:47 仙台空港事務所が緊急点検開始		
3/11	0	14:49 津波警報発令(大津波:6m)		
		15:14 津波警報切替(大津波:10m以上)		
		15:59 仙台空港に津波到達		
3/12	1	20:20 津波警報(大津波)から津波警報(津波)へ		
		07:30 津波警報(津波)から津波注意報へ		
3/13	2	17:58 津波注意報解除		
		被害状況の確認開始		
3/14	3	土砂・瓦礫撤去作業開始		
3/15	4	B 滑走路(東側 600m)を暫定供用開始(救難活動用ヘリコプター限定)		
3/16	5	B 滑走路(東側 1,500m)を暫定供用開始(緊急物資輸送機限定)		
3/20	10	河川局による排水作業開始(一部は13日から着手済)		
3/29	18	B 滑走路(3,000m)の暫定供用開始(緊急物資輸送機限定)		
4/13	33	仙台空港暫定供用開始,国内線臨時便就航		
7/25	136	国内線定期便就航, 国際線臨時便就航		
9/25	198	国際線定期便就航		

表-6 復旧作業の概要



写真-17 場周柵の復旧



写真-18 瓦礫撤去の状況

6. 結論

平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による仙 台空港の基本施設のアスファルト舗装及びコンクリー ト舗装の被害は以下のようにまとめられる.

- (1) B 滑走路では 12 本のひび割れを確認したものの,各 種調査の結果,当面の運用に支障のあるひび割れで はないと考えられた.また,沈下等は確認されなか った.
- (2) 平行誘導路では11本のひび割れを確認した.FWD 調査の結果,一部ひび割れでは打換が必要であるものの,他のひび割れについては当面の運用に支障のあるひび割れではないと考えられた.また,平行誘導路の3箇所で液状化に起因する沈下が確認され,県道周辺部の局所沈下は民間航空機の供用に支障を及ぼすと考えられた.
- (3) エプロンでは液状化に起因する局所沈下およびひび 割れが確認された.特に2番スポットと3番スポットにおいて沈下量が大きく,民間航空機の供用に支 障を及ぼすと考えられた.

謝辞

本資料を執筆するにあたり,国土交通省東京航空局空 港部土木建築課及び仙台空港事務所,国土交通省東北地 方整備局港湾空港部港湾空港整備・補償課及び仙台港湾 空港技術調査事務所より種々のデータを提供頂いた.関 係各位に深く感謝申し上げます.

参考文献

- 気象庁:災害時地震・津波速報-平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震,災害時自然現象報告書, 2011年第1号,2011年8月17日.
- 国土交通省航空局・国土交通省国土技術政策総合研究所監修,(財)港湾空港建設技術サービスセンター 発行:空港舗装補修要領及び設計例,2011.
- (社) 土木学会:多層弾性理論による舗装構造解析 入門,舗装工学ライブラリー3,2005.
- 4) 西澤辰雄,松野三朗:コンクリート舗装の構造解析 における有限要素法の適用性について、土木学会論 文報告集,第 338 号,pp.207-215, 1983.

(2012年2月14日受付)

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 680 March 2012

編集·発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは ^{〒239-0826} 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019