

2005 年 3 月 28 日のスマトラ島沖地震における インドネシア・ニアス島の地震被害

三輪滋¹, アイダンオメル², 児玉裕之³, 遠藤一郎⁴, 清野純史⁵, 鈴木智治⁶, 濱田政則⁷ ¹飛島建設 技術研究所所長 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472) E-mail: shigeru_miwa@tobishima.co.jp ²東海大学教授 海洋学部海洋建設工学科 (〒424-8610静岡県静岡市清水区折戸3-20-1) E-mail: aydan@scc.u-tokai.ac.jp ³飛島建設 国際支店 (〒102-8332 東京都千代田区三番町二番地) E-mail: hiroyuki_kodama@tobishima.co.jp ⁴大成基礎設計 地盤エンジニアリング事業部(〒113-0022 東京都文京区千駄木 3-43-3) E-mail: endo1225@taiseikiso.co.jp ⁵京都大学大学院助教授 工学研究科都市社会工学専攻(〒615-8530 京都市西京区京都大学桂 C-1) E-mail: kiyono@quake.kuciv.kyoto-u.ac.jp ⁶飛島建設 国際支店インドネシア事務所(Wisma Nusantara Building 14th Fl. Jl. MH. Thamrin No. 59, Jakarta, Indonesia)

E-mail: tomoji_suzuki@tobishima.co.jp

⁷ 早稲田大学教授 創造理工学部社会環境工学科(〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1) E-mail: hamada@waseda.jp

巨大津波によりインドネシアなどに未曾有の大災害を引き起こした2004年12月26日のスマトラ沖地震の 3ヵ月後の2005年3月28日に、先の地震の震源域のやや南にあたるインドネシア・Nias(ニアス)島の北方で マグニチュード8.7の巨大地震が発生し、震源に近いニアス島を中心に、今度は大きな地震動やそれに伴う 液状化などの地盤災害により多くの構造物が大きな被害を受けた.これらの地震被害に対して、地震被害 調査にとどまらず、復旧復興の提言や防災教育など復旧復興支援活動が継続的に実施されている.ここで は、地震直後の被害調査と、復旧復興支援活動の中で実施した地盤調査から得られた、地盤や構造物の被 害状況、特に液状化による被害について、地盤地震工学的な視点から述べる.

Key Words : Strong Motion, Liquefaction, Lateral Flow, Swedish weight Sounding, Reconstruction

1. はじめに

2004年12月26日に発生したスマトラ沖地震はインド 洋全体にわたって巨大津波を引き起こし、インドネシア などで未曾有の大災害を引き起こした。その3ヵ月後の 2005年3月28日には先の地震の震源域のやや南にあた るインドネシア・Nias(ニアス)島の北方でマグニチュー ド 8.7の巨大地震が発生し、震源に近いニアス島を中心 に、今度は大きな地震動とそれに伴う液状化などの地盤 災害により、多くの構造物が大きな被害を受けた。これ らの地震被害に対して、地震被害調査にとどまらず、復 旧復興の提言および地盤調査の技術移転^{10,23}あるいは防 災教育活動^{455,00,7,8}など復旧復興に対する支援活動が継続 的に実施されている。特に、ニアス島に対しては、地震 直後の支援で復旧の提言をしたものの、地盤データがほ とんどないことから、復興については、地盤調査手法の 普及支援から始めるという継続的支援を実施中である。

本論文では、2005年にスマトラ島沖で発生した、2つ 目の巨大地震で甚大な被害を受けたインドネシア・ニア ス島の被害について、地震直後の被害調査²⁹⁹、および 継続的に実施している復旧復興支援活動^{3,10,11)}の中で実 施した地盤調査から得られた地盤や構造物の被害状況、 なかでも液状化による被害について、最近の支援活動¹²⁾ で得られた新たな知見も加えて地盤地震工学的な視点か ら述べる.

2. 地震および被害調査の概要

表-1に、USGS¹³およびHarvard 大学¹⁴が推定した震源な どを示す.USGSによればモーメントマグニチュードは 8.7、震源はニアス島のやや北のバニャック諸島付近、 Harvard大学によればさらに南でニアス島により近い位置 である.表-2に、八木¹⁵により推定された破壊過程の諸 元を2004年12月の地震のそれ¹⁶と比較して示す.なお、 2004年12月の地震に関しては、超長周期の地震動を出し たとされる破壊領域の北側は推定に含まれていない.ま た、図-1に八木¹⁵による破壊領域を示す.これらによれ ば破壊領域は、断層長さは約470km、幅約150km、滑り 量は約10mにもおよぶ典型的な低角逆断層型の巨大地震 であるが、2004年12月の地震に比べれば規模が小さい. また、破壊のアスペリティがニアス島の直下にあること から、特にニアス島で大きな被害が生じたと考えられる.

Institute	NIW		Latitude	LOI	ngitude	Depth	
			(N)	(E)	-	(km)	
USGS 8.7			2.076°		013°	30.0	
Harvard	8.6		1.64°	96.	98°	24.9	
表-2 推定された震源パラメータ							
	2005年3月の地震 い			2004年12月の地震)16)			
Strike, Dip, Rake		(329,14,115)		(329,10,110)			
Moment Tensor Scale		1.6×10^{22} Nm		1.62×10^{22} Nm			
Rupture Duration Time		150s		about 400s			
Depth		28 km		-			
Rupture Area		about			about		
		150×470 km			180×600 km		

about 19 m

about 10 m

Slip

表-1 地震の諸元



ニアス島は、南北約 150km,東西 50km,人口約 70万人の島である.経済の中心は、北東部の Gunung Sitoli (グ ヌンシトリ)と南端の Telukdalam (テルクダラム)であり人 ロや建物も集中している.国連の調べ¹⁷⁾ (2005年4月 29日現在)では死者 905人を数え、負傷者は 6,000人以 上に上っている.ニアス島における被害調査は、2005 年4月に復旧の提案活動³と併せて2回,2006年2月の 計3回,また地盤調査は2006年1月³と2007年2月¹²⁾ の現地での地盤調査普及活動に併せた調査の計2回行な っている.被害調査は図-2に示すように島の東岸を中 心に実施した.主な都市や被害地点を図中に示す.西岸 は地震被害の影響もあり道路状況が悪く、地震直後には 調査できていないところもあり、2006年に補足した.



図-2 ニアス島における調査域と主な被害構造物

3. 津波

津波に襲われた地域は、スマトラ島の Singkil (シンキ ル), Sibolga (シボルガ), Simeulue 島 (シメウルエ), Banyak 諸島 (バニャック), ニアス島などである. Singkil では 4m, Sibolga では 1m以上と報告されている. ニアス島での津波の被害は,島の北端部の Tuhemberua (ツエンベルア)周辺と島の南端部の Sorake beach (ソ ラケビーチ)で確認された.津波高さは住民の話では, それぞれ 4~5m, 6~7m 程度であり,周辺の民家や 2 階 建て程度の RC 構造物が倒壊などの被害を受けている. また,ニアス島の北のバニャック諸島でも 1m 程度の地 盤沈下や 2m 程度の津波被害が報告されている¹⁸⁾.情報 が十分でなく津波による犠牲者がどの程度かは不明であ る.インドネシア以外でも津波が報告されているが数十 cm 程度以下である.このように,この地震での津波は

4. 地盤・構造物の被害

(1) 橋梁の被害

ニアス島の道路は、北部の Lahewa (ラヘワ) からグ ヌンシトリを結ぶ道路、グヌンシトリから島の東岸を通 り南部のテルクダラムを結ぶ道路、グヌンシトリから島 の中央部を抜けてテルクダラムを結ぶ道路などが主要道 であるが、西側は道路整備が遅れており、地震による斜 面崩壊などの被害で不通が続いていた. これらの道路に 見られる橋梁のうち橋長が長いものは、トラス橋、RC 橋, RC ボックスカルバート橋, ベーリー橋などであり, またそれらが組み合わせられたものである. 特に橋長が 長いものはトラス橋が多い. 大きな被害を受け交通が遮 断されていた橋梁としては、北部の Lafau (ラファウ) 橋, Muzoi (ムゾイ) 橋, 東海岸の Idano Gawo (イダノ ガウォ)橋などがあげられる.北部のムゾイ橋、ラファ ウ橋では,液状化により,取り付け部地盤が広範囲に河 心方向に流動し、また橋脚が大きく傾斜、沈下した. 被 害の様子を図-3および図-4に示す.

ムゾイ橋では、橋台取り付け部の地盤が 50m から 70mの範囲で河心方向に約 4m 程度移動し、最大 4.5m 程 度沈下し、車両は通行不能となった.橋台は杭で支持さ れているが、杭頭部が損傷し鉄筋が露出しているものも 見られる.橋台、橋脚ともに基礎部が河心側に傾斜し、 東側の橋脚部で RC 桁と中央のトラスの間に段差が生じ ている.



図-3 Muzoi橋の被害





図-4 Lafau 橋の被害



取付け部の亀裂沈下 橋台の傾斜と地盤の亀裂 地盤の流動による亀裂と噴砂

図-5 Sawo 橋の被害

トラスの傾斜 ボックスカルバートの傾斜 大口径の橋台基礎 ボックスカルバートの杭基礎は確認できない







図-7 調査した橋梁と主な町

表-3 調査した橋梁と道路の被害

Point No.	Subject	remarks			
	East and North Coast Road of NIAS (Gunung Sitoli- Lah	ewa)			
1	RC 1Span (L=20m)	Crack at the approach embankment			
2	RC bridge	Crack and settlement of the approach embankment			
3	(I-type steel beam girder+ wooden floor)L=15m	Crack and settlement of the approach embankment			
4	RC bridge L=8m	Crack and settlement of the approach embankment (1.2m)			
5	(I-type steel beam girder+ wooden floor)L=21m	Crack and settlement of the approach embankment			
6	RC bridge L=14m	Crack (W=5-30cm) and settlement of the approach embankment, crack and movement of the			
-		retaining wall, lateral displacement of ground			
1	(I-type steel beam girder+ wooden floor)	Crack and failure of the approach embankment			
8	(I-type steel beam girder+ wooden floor)L=15m	No damage			
9	Damage of the road	crack of the road, collapse of the house by slope failure			
10	Truss Bridge L=40m	Crack and settlement of the approach embankment, sand boil at the village near the bridge			
11	Damage of the road	orack, clone failure			
12	(I-type steel beam girdert wooden floor) I =7.5m				
12	(I-type steel beam girder+ wooden floor) I=11m	Sovera Crack and cattlement(1.2m) of the approach embankment			
14	(I-type steel beam girder+ wooden floor)L=7m	Severe Crack and settlement of the approach embankment			
15	Damage of the road	crack liquefaction teunami			
16	Damage of the road	crack liquefaction tsunami			
17	(I-type steel beam girdert wooden floor) I =19m	Grack and settlement of the approach embankment, difference in level (80cm) hardly to pass			
18	Damage of the road	Crack difference in level (50–100cm) hardly to pass			
10		Severe Liquefaction Lateral Flow Large amount of sand boil Crack and settlement of the			
19	Sawo bridge: Truss 1Span 50m	approach embankment, abutment of the left bank moved 30cm to the river			
		Severe Liquefaction Lateral Flow settlement of the approach embankment (3-45m at the			
20	Muzoi Bridge RC 2span(10m each) +Truss 1span (51m)	right, 0.2–1.5m at the left bank), movement of the abutment and the pier (400cm) to the river,			
		piles were broken at the piletop, Truss moved, Impassable after the earthquake			
		Severe Liquefaction, Lateral Flow, settlement of the approach embankment. movement of the			
21	Lafau bridge Truss 1span 55m	abutment and the pier to the river, piles were broken at the piletop, Truss was dropped from			
		the abutment at the right bank, Impassable after the earthquake			
22	Lahewa port	a wharf collapsed and settled due to the separation from the piles.			
	East and South Coast Road of NIAS (Gunung Sitoli- Tel	ukdaram)			
101	Idano Goho bridge RC bridge 3 Span L=47m,	Lateral Flow, settlement of the approach embankment, movement of the abutment to the river,			
101	Truss bridge 1Span	piles were broken at the piletop,			
102	RC bridge 1 Span L=25m	Crack and settlement of the approach embankment, lateral flow			
103	RC bridge 1 Span L=26m	Crack and settlement of the approach embankment			
104	slope failure	Rock fall of porous limestone.			
105	Truss bridge 1 Span L=60m	Settlement of the left approach embankment (50cm), abutment moved to the river, lateral flow			
106	(I-type steel beam girder+ wooden floor) L=8m	Crack at the bank			
107	(I-type steel beam girder+ wooden floor)L=8m	No damage			
108	RC 3box culvert bridge L=15m	Small crack at the approach embankment, Good performance			
109	RC bridge 1span L=36m	Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, piles were			
100		broken at the pile top.			
110	Idano Sebua bridge RC bridge 3 Span L=50m	Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow			
111	RC ridge 2Span L=34m	Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow			
112	Truss bridge 1Span L=62m	Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow			
113	Idano Gawo bridge Truss bridge 2 Span L=80m, with	Tilting of box culvert and pier at right side. Impassable after the earthquake			
	Box Culvert bridge 28m on both side				
114	Truss bridge 1 Span L=30m	Grack and settlement (1.2m) of the right approach embankment, Fall down of the abutment,			
		lateral now, Truss moved Crack and settlement of the approach embankment. Fall down of the abutment, lateral flow			
115	Idano Mizawo bridge Truss bridge 1 Span L=45m	Truss moved			
		Crack and settlement of the approach embankment. Fall down of the abutment, lateral flow			
116	Idano Mola Bridge Truss bridge 2 Span L=60m	Truss moved			
		Crack and settlement of the approach embankment. Fall down of the abutment lateral flow			
117	Truss bridge 1 Span L=55m	Truss moved (85cm)			
118	RC bridge 1 Span L=25m	almost no damage			
119	RC bridge 2 Span L=35m	almost no damage			
120	RC bridge 1 Span L=25m	No damage			
		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
121	Susuwa Bridge Truss bridge 1 Span L=65m	Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow			
122	RC bridge 1 Span L=10m	No damage			
123	Truss bridge 1 Span L=54m	Truss moved			
120	Truss bridge 3 Span L=90m	No damare			
125	Truss bridge 1 Span I = 30m	No damage			
126	slope failure	Rock fall of porous limestone.			
127	slope failure	Rock fall of porous limestone			
128	Bailey bridge +wooden floor 1 =60m	almost no damage. Small crack at the approach embankment			
129	Failure of the retaining wall at the seaside	Failure of the stone masonry retaining wall at the seaside			
120		a part of wharf sank into the sea and some pile heads were fractured by collision of			
130	l elukdaram port	wharf segment.			
131	Traditional wooden house	Good performance			
132	Sorake beach	Tsunami			
	West Coast Road of NIAS (Gunung Sitoli- Terukdara	im)			
201	Idano Tanosaruru bridge Bailey bridge 30.5m	twisted and deformed, Crack and settlement of the approach embankment			
	Idano Ovo bridge (I-type steel beam girder+Bailey				
202	bridge+wooden floor) 55m	pier is tilted, settlement of the approach embankment			
203	Idan Siwarawa hridge (Railey bridge±wooden floor) 20	collapse of abutment			
204	Idano O'ou bridge (Bailey bridge+wooden floor) 185m	Bailey bridge is deformed			

ラファウ橋は1径間トラス橋で、両側の取り付け部の 地盤がはムゾイ橋同様大きく沈下した. 左岸側橋台は上 部が桁に押さえられ、基礎は地盤の流動により、河心側 に押し出されるように傾斜し、基礎杭は杭頭部で損傷し た. 反対の右岸側でトラス桁が旧橋台上に落橋したが、 橋台の桁受け長さが短いようである.

通行不能には至っていないが、典型的な液状化被害と して、Tuhemberua 近傍の Sawo(サウォ)橋の被害を図-5 に 示す.橋梁周辺では、大量の噴砂が見られた.橋台前面 の河岸には、地盤が河心方向に移動し亀裂が入っていた. また橋台も地盤の流動により河心方向に移動し傾斜した.

イダノガウォ橋梁では、橋台とそれに続くボックスカ ルバートが上流側に傾斜し、トラスは水平方向に 1.3m 移動した.ボックスカルバートの基部が川の流れで直接 洗掘されていたこと、基礎が支持層まで到達していなか ったことが被害の原因と推定される.被害の様子を図-6 に示す.

このほか, ラヘワとグヌンシトリ, グヌンシトリとデ ルクダラムの間の多くのトラス橋や RC 橋の橋台が河心 方向への移動, 傾斜の被害を受けた. 水位付近に砂層が 確認される場合が多く, 液状化に伴う地盤の流動が影響 していると考えられる. 橋台背後の盛土も数十センチか ら lm 以上沈下している場合が多い. また, トラス橋で は, トラスが橋軸直交方向へ移動し, 沓座から外れる被 害が多く見られた.

(2) 道路・斜面の被害

道路は地震により、盛土の崩壊、斜面崩壊、液状化に よる地盤流動の影響などによりいたるところで被害を受 けた. 亀裂や大きいところでは lm 以上の沈下などの被 害が数多く発生した. 地震以前から、アスファルト舗装 の状態が良くない箇所が多く、各所にくぼみが生じてい る状態であった. 多孔性の石灰岩の切り通しの地点で岩 石の崩落が各所で発生し、直接道路上に落下し道路をふ さぐ例も見られた. また、島の中央を抜ける道路では、 山間部で斜面崩壊などにより車両の通行ができなくなっ ていた. 橋梁および道路の被害については、図-7 と表-3にまとめる.

(3) 港湾構造物の被害

島の南端のテルクダラムでは、桟橋の一部が水中に没 する被害が生じた. グヌンシトリでは、液状化による被 害が確認された地域で、桟橋の杭頭部で亀裂が生じ、沈 下や側方への変形が見られた. 図-8 にこれらの桟橋の 被害を示す.

(4) 建物の被害

都市部や比較的大きな町では、2 階以上の RC 建物が

多く存在し、特に3階以上の建物の多くがパンケーキモ ードの崩壊や大きな被害を受けた. RC 構造物の多くは フレーム構造で、壁はレンガかブロックである. 被害を 受けた RC 構造物の多くは、建物重量が大きい割には柱 が細いこと、また鉄筋量が少ないこと、帯鉄筋が細く間 隔が大きいこと、帯鉄筋の定着、柱梁接合部の鉄筋の定 着、耐震壁がないことなどから、大きな地震力が作用し たことでパンケーキ状の崩壊か非常に厳しい被害に至っ たと考えられる. 死者の多くは、これらの建物の下敷き となったものである. また、壁の面外方向への倒壊も多 い. 多くの教会も被害を受けたが、壁の倒壊が非常に多 かった. 建築構造物の被害の様子を図-9 に示す.





グヌンシトリの桟橋の被害(パイルベント頭部亀裂,水平移動)

図-8 港湾構造物の被害



図-9 パンケーキ崩壊した建物

グヌンシトリでは液状化による沈下と地盤の流動で海 岸沿いや河川沿いの多くの建物が被害を受けた.埋立地 では一帯で液状化被害を受けた.液状化により埋まった 井戸と建物の被害の様子を図-10 に示す.べた基礎でな いことや基礎が地中梁で結合されていないことで,建物 が沈下し,柱が変形し,1階の床の浮き上がりという被 害が確認された.河岸沿いでは地盤の流動で建物も倒壊 した.ほとんどの建物が取り壊され,バラックは立って いるものの,約2年後の2007年2月でも更地が広がっ ている状態であった.



噴砂で埋まった井戸 沈下傾斜した建物と噴砂 図-10 グヌンシトリの埋立地の液状化による被害

埋立地内にある河口部のトラス橋も液状化による被害 を受けた.被害の様子を図-11 に示す.左岸側の橋台は RC 杭基礎の頭部が露出し,杭頭部は損傷し鉄筋が露出 している.また,右岸側では橋台とトラス桁に隙間が生 じ,車両が通るたびにねじれ振動を起こしている.この 被害は,約2年経過した2007年2月もそのままの状態 で供用されている.



右岸の桁は橋台と傾いた隙間が発生 左岸の橋台基礎は杭が露出し損傷

図-11 グヌンシトリの埋立地の橋梁の被害

5. 液状化の検討

海岸線沿いや河川沿いには砂質地盤が存在し、上述の ように、多くの地点で液状化が確認され、噴砂、地盤の 流動、沈下といった被害が発生した.

橋梁などの社会基盤や都市部での建築物などの復旧, 復興のためには、地盤調査データが必要と考えられた. しかし、地震直後の調査で、地盤のデータがほとんどな いことがわかった.復旧,復興や今後の地震防災を考え た場合、地盤調査を普及させることが重要と考えられた. このような地域に地盤調査技術を普及していくには、調 査機器の構成および試験法が非常に簡単で、機械的な故 障も生じにくく、機器が安価であることが必要である. そこで、簡易な技術ではあるが、これらの特徴を満たす スウェーデン式サウンディング試験²⁰(以下 SWS と呼ぶ) の機器を寄贈し、現地技術者に技術移転することとした. SWS は図-12 のような構成の機器で行う試験であり、回 転貫入量を指標として地盤の情報を判断する簡易な試験 である. グヌンシトリでは、地盤調査法普及のための現 地技術者への講習を兼ねて SWS を実施した. これらの 支援活動は NPO 国境なき技師団¹⁹やインドネシア工学 会²⁰と共同で実施されたものであり、参考文献 3), 10), 12)などに詳しい. ここでは地盤調査で得られた 結果を用いて液状化の検討を行った.



図-12 SWS 試験の機器と試験の様子

グヌンシトリはニアス島の東岸に面した,海から背後の丘陵地に広がる町である.SWS は海岸付近の埋立地の2地点(Sea side shop house と Sea shore),やや標高の高い1地点(Govemor's house)で実施した.SWSの実施地点をGoogle Earthの衛星写真²²⁾を用い、図-13に示す.埋立地で実施した試験の様子を図-14に示す.SWSを実施した周辺は建物が取り壊され、更地になっているのがわかる.



図-13 グヌンシトリでの地盤調査地点



Sea side shop house

Sea shore

図-14 グヌンシトリでの地盤調査の技術移転

グヌンシトリの地盤の液状化が確認された海岸に近い 埋立地と標高の高い地点において採取した砂の粒径加積 曲線を図-15 に示す. 粒度のそろった非常に液状化しや すい砂であることがわかる. SWS 試験結果とそれに基 づいた液状化判定結果を図-16 に示す. 液状化判定は建 築基礎構造設計指針²³の方法を用いた. 検討地点はアス ペリティの直上にあり,建物の層崩壊という被害が見ら れたことは建物自体が脆弱であったことを差し引いても 地震動レベルがかなり大きかったと考えられることから, 終局限界検討用の地震動相当として 350cm/s² とについて 検討した. マグニチュードは M=8.7 とした.

液状化の検討では、やや規模の小さな地震として、マ グニチュード 7.5、地表面加速度 200cm/s²の場合も検討 した.砂粒分含有率は粒度試験結果を基に Governor's house で 12.2%, Sea side shop house で 3.6% とした. Sea shore は表層の砂層が 10%, 2.5m 以深のシルト質砂層で 30% とした.地下水位は、それぞれ G.L.-2m, G.L.-1m, GL-0.5m (試験開始深さを GL.として) とした.なお、 埋立地内で近傍の Sea side shop house と Sea shore とは、周 囲の地盤高さに比べ、それぞれ 0.5m、1.7m 深い位置か ら試験を始めていることも考慮し両者を比較している.

SWSの結果から海岸埋立地の Sea side shop house 地点で は、表層の 3m は非常に緩い砂層である.表層部の緩い 埋立て層と河口部に非常に緩く堆積した砂層やシルト層 が続いているものと考えられる.SWSの結果から換算 した N値も5以下であり、FL値は0.4以下で、激しく液 状化したことがわかる.また PL 値を見ても、液状化に よる被害の程度が大きいことが推定される.200 cm/s²の 加速度の場合でも液状化の可能性が高い.2007 年に実 施したより海岸に近いもう1地点(Sea shore)では表層の 2.5m 程度の砂層はややしまってはいるものの、その下 のシルト質砂層やはり液状化しやすい結果が得られた. この埋立地では、上述のように建物の沈下、傾斜、床の 浮き上がりなど大きな被害が生じ、建物はほとんどすべ て取り壊されたこと.地盤調査に基づく液状化判定結果 は、このような地震被害と調和的である.



図-15 Gunung Sitoli の2地点における砂の粒径加積曲線



図-16 土質、スウェーデン式サウンディングから推定した N 値と液状化判定結果

一方やや標高が高い地点(Governor's house)も砂層が主 体ではあるが SWS の結果から換算した N 値は 10 程度と 相対的に大きく,砂層の GL-2~3m と 4m~が液状化す るものの,FL 値は 0.5~0.9 と比較的大きく,PL 値も 6 程度であり,また表層にも非液状化層があることから, 破局的な被害にはつながらないと考えられる.この地点 では,建物周囲に亀裂などが生じたものの建物には大き な被害が生じていない.このように,それぞれの地点に おいて,地盤調査結果とそれに基づく液状化判定の結果 は,液状化被害とその程度と調和的である.

インドネシアでは、SWS 試験はあまり普及していない. SWS 試験の結果と様々な地盤の指標の関係は、日本の地盤で得られた関係式に基づいたもので、砂質土については、同様の関係が期待されるものの、必ずしもそのままインドネシアの地盤に適用できるとは限らない. そこで、ニアス島ではないが、スマトラ島内の標準貫入試験の結果がある2地点で、両者を比較した.結果を日本で得られた既往の結果^{20,24)}とあわせて図-17に示す.

得られたデータは少ないものの、従来の関係の範囲に おさまる結果である。今後は、これらの地域に対して、 このようなデータを蓄積することで、SWS 試験からほ かの地盤の指標を求める場合の適用性が向上していくと 考えられる.



図-17 SWS と標準貫入試験結果の関係
 (文献 24) に加筆したデータ²⁰に加筆)

6. 結論

2005 年 3 月 28 日のスマトラ島沖地震におけるインド ネシア・ニアス島の地震被害は以下のようにまとめられ る.

 2005年3月28日のスマトラ島沖地震(M8.7)では、ニアス島で強震動により道路・橋梁などの社会資本や 建築物に大きな被害が発生した。また、一部の地域 では津波による被害も確認された。

- 2) 幹線道路にかかる多くの橋梁は、橋台が河心方向に 移動・傾斜する被害を受けた.噴砂が確認された地 点も多く、これらは、液状化と液状化に伴う地盤の 流動が大きな被害要因と考えられる.
- 3) 中心都市のグヌンシトリやテルクダラムでは、3 階を越える RC 構造物の多くが強い地震動と施工上の問題により倒壊した.また、沿岸部や河川流域で広範囲に液状化や液状化に伴う地盤の流動が発生し、建物の沈下・傾斜、倒壊、橋梁の被害が発生した.
- 4) グヌンシトリ市内の3地点でスウェーデン式サウン ディングを実施した.その結果から、液状化被害が 顕著であった海岸および河岸付近では、緩い砂層が 堆積し、表層の埋め立て層とともに、非常に液状化 しやすいことがわかった.
- 5) 州政府や県などの現地行政機関の要請を受け、復旧 復興支援活動を継続的に実施している.地盤調査資 料がほとんどないこと、今後の復興には地盤調査デ ータの蓄積が不可欠であることから、スウェーデン 式サウンディング試験の技術移転を実施している.

謝辞:本活動の多くは土木学会の復旧復興支援チームの 活動として実施された.また、一部は NPO 国境なき技 師団やインドネシア工学会との共同で実施した. さらに 活動の一部は(社)国際建設技術協会から専門家派遣の ための支援を受けて実施された.現地調査や報告会,講 習会の開催に当たっては、国内や現地のさまざまな機関 からの協力を受けた. ジャカルタの Geotec Konsultan Utama 社の Fukamachi 氏や建設会社の Wijaya Karya 社から は技術者の派遣の協力を得た. 大成基礎設計株式会社か らは、スウェーデン式サウンディングの機器一式をご寄 贈いただいた. 在大阪インドネシア総領事館, 在メダン 日本総領事館には活動に対し様々な支援をいただいた. 地盤工学会、国際地震工学会からは、液状化対策や世界 の耐震規定に関する書籍の寄贈をいただいた.また、そ れ以外にも数多くの機関の方々にご協力をいただいた. 記して心から御礼申し上げます.

参考文献

- (後藤洋三:「スマトラ沖地震・津波災害」土木学会スマ トラ島調査団速報,土木学会誌, Vol.90, No.5, pp.31-34, 2005.
- 2) 土木学会インドネシア・ニアス島地震応急復旧・復興支援チーム:「インドネシア・ニアス島地震応急復旧・復興支援チーム」速報,土木学会誌, Vol.90, No.7, pp.49-52, 2005.
- 3) 三輪滋,清野純史,アイダンオメル,遠藤一郎,鈴木智

治,濱田政則:インドネシア・ニアス島復興支援チーム ー復興計画計画策定のための地盤調査指導支援-活動報 告,土木学会誌, Vol.91, No.4, pp.76-79,2006.

- 4) 濱田政則,清野純史,国崎信江,鈴木智冶:なぜもっと 早く私たちに伝えてくれなかったのですか-「稲村の火」 バンダアチェにおける防災教育支援活動-,土木学会誌, Vol.90, No.6, pp.43-46, 2005.
- 5) 塚澤幸子, 横井千晶: インドネシア・スマトラ島におけ る学生会員による防災教育活動, 土木学会誌, Vol.90, No.11, pp.53-56, 2005.
- 6) 塚澤幸子,横井千晶:学生による防災教育活動,土木学 会誌, Vol.90, No.12, pp.22-23, 2005.
- 北島功:インドネシア・スマトラ島における第2回防災 教育活動,土木学会誌, Vol.91, No.5, pp.91, 2006.
- 清野純史:土木学会・国境なき技師団主催の防災教育フェスティバルが開催される、土木学会誌、Vol.91, No.11, p.100, 2006.
- 9) Omer Aydan, Shigeru Miwa, Hiroyuki Kodama and Tomoji Suzuki: The Characteristics of M8.7 Nias Earthquake of March 28, 2005 and Induced Tsunami and Structural Damages, Journal of The School of Marine Science and Technology, Tokai University, Vol.3, No.2, pp.66-83, 2005.
- 10) 三輪滋,アイダン・オメル,児玉裕之,清野純史,遠藤 一郎,鈴木智治,濱田政則:2005年3月28日のスマトラ 島沖地震におけるインドネシア・ニアス島の被害と復旧 復興支援活動,第2回近年の国内外で発生した大地震の 記録と課題」シンポジウム,土木学会地震工学委員会, pp.60-67,2006.
- 11) Miwa, S., Aydan, O, Kodama, H., Kiyono, J., Endo, I., Suzuki, T. and Hamada, M.: Damage in Nias Island Caused by the M8.7 Off-shore Sumatra Earthquake, March 28,2005, Proc. of 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, No.1426, 2006.
- 12) 三輪滋,遠藤一郎,清野純史,アイダンオメル,鈴木智治:インドネシア・ニアス島復興支援チーム-インドネ

シアにおけるニアス島の地震災害からの復興と北スマト ラ州,西スマトラ州の地震防災のための地盤調査技術の 普及と活用支援-活動報告,土木学会誌, Vol. 92, No.6, pp.101-103, 2007.

- USGS: U.S. Geological Survey, National Earthquake Information Center, Golden, CO, USA. Magnitude 8.7 Northern Sumatra, Indonesia, 2005 March 28 16:09:36 UTC. http://earthquake.usgs.gov/
- Harvard: Harvard Centroid Moment Tensor, Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, MA, USA.
- 15) 八木勇治: 2005年3月28日スマトラ沖で発生した巨大地震
 (M 8.7) に つ い て , http://iisee.kenken.go.jp/staff/ yagi/eq/Sumatra2005/Sumatra20050328-j.html
- 16)
 八木勇治: 2004 年 12 月 26 日 北スマトラ沖で発生した地震

 震について(暫定ver.1)、,

 http://isee.kenken.go.jp/staff/yagi/eq/Sumatra2004/Sumatra2004-j.html
- 17) 国 連 人 道 問 題 調 整 事 務 所 ; http://www.reliefweb.int/rw/dbc.nsf/doc108?OpenForm&rc=3&emid= EQ-2005-000053-IDN
- ピースウインズジャパン:バニャック諸島への支援計約40トンに、http://www.peace-winds.org.jp/act/indonesia.htm
- 濱田政則: NPO 仮称:国境なき技師団 (Engineers without Borders, Japan)設立について、土木学会誌, Vol. 90, No.12, p.82, 2005.
- 20) 地盤工学会:地盤調査の方法と解説,第6編サウンディング,第4章スウェーデン式サウンディング試験,pp.280-289,2004.
- 古木守靖: インドネシア工学会(PII)との協力協定締結,24 番目の締結団体に、土木学会誌,Vol.90,No.10, p.78, 2005.
- 22) Google Earth: http://earth.google.co.jp/
- 23) 日本建築学会:建築基礎構造設計指針, 2001.
- 24) 稲田倍穂:スウェーデン式サウンディング試験結果の使用について、土と基礎、Vol.8, No.1, pp.13-18, 1960.
 (2007.04.06 受付)

DAMAGE IN NIAS ISLAND CAUSED BY THE M8.7 OFF-SHORE SUMATRA EARTHQUAKE, MARCH 28, 2005

Shigeru MIWA, Omer AYDAN, Hiroyuki KODAMA, Ichiro ENDO, Junji KIYONO, Tomoji SUZUKI and Masanori HAMADA

A very large earthquake with a magnitude of 8.7 occurred nearby Nias Island of Indonesia on March 28, 2005. Strong ground motions induced heavily casualties and damages to infrastructures such as roads and bridges, and buildings. Permanent ground movements such as settlement and lateral spreading, and associated structural damage due to liquefaction were widely observed in various locations along the coastal area and reclaimed ground. Many bridges were damaged by strong ground motion and permanent movement of abutments as a result of lateral spreading of liquefied ground. Many buildings were heavily damaged due to partial settlement, inclination and uplift of ground floor in the reclaimed area in the coastal region of Gunung Sitoli. The Swedish Weight Sounding Test were introduced and conducted by local enginners in Nias Island in order to initiate recovery and reconstruction work.