

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

三輪滋¹, アイダンオメル², 児玉裕之³, 清野純史⁴,
遠藤一郎⁵, 鈴木智治⁶, 濱田政則⁷

Shigeru MIWA¹, Ömer AYDAN², Hiroyuki KODAMA³, Junji KIYONO⁴,
Ichiro ENDO⁵, Tomoji SUZUKI⁶ and Masanori HAMADA⁷

¹ 飛鳥建設技術研究所

² 東海大学海洋学部海洋建設工学科

³ 飛鳥建設国際支店

⁴ 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

⁵ 大成基礎設計地盤エンジニアリング事業部

⁶ 飛鳥建設国際支店インドネシア事務所

⁷ 早稲田大学理工学部

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、甚大な被害を受けたインドネシア・ニアス島での活動から得られた被害状況、継続的に実施されている復旧復興支援活動の状況および課題について報告する。

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^{1),2),3)}や防災教育^{4),5),6),7)}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、2つ目の地震で甚大な被害を受けたインドネシア・ニアス島での活動から得られた被害状況や地震工学に関わる知見^{8),9)}に新たな検討を加えて報告する。また、継続的に実施されている復旧復興支援活動の内容と、今後の課題について報告する。

2. 地震および被害調査の概要

USGS¹⁰⁾およびHarvard大学¹¹⁾が推定した震源などを表-1に示す。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パニャック諸島付近、Harvardによればさらに南でニアス島により近い位置である。Yagi¹²⁾や山中¹³⁾により推定された破壊過程の諸元を表-2に示す。また、図.1にYagi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。

表-1 地震の諸元

| Institute | Mw | Latitude (N) | Longitude (E) | Depth (km) |
|-----------|-----|--------------|---------------|------------|
| USGS | 8.7 | 2.076° | 97.013° | 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

| | Yagi | Yamanaka |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Strike, Dip, Rake | (329,14,115) | (320,12,104) |
| Moment Tensor Scale | 1.6×10^{22} Nm | 1.3×10^{22} Nm |
| Rupture Duration Time | 150s | 120s |
| Depth | 28 km | 27 km |
| Rupture Area | about 150×470 km | about 120×250 km |
| Slip | about 10 m | about 12 m |

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(グスンシトリ)と南端のTelukdalam(テルクダラム)であり人

口や建物も集中している。国連の調べ¹⁴⁾(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²⁾と併せて2回、2006年1月の現地での地盤調査普及活動³⁾に併せた調査と2月に実施した調査の計4回行なっている。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調査できていないところもある。

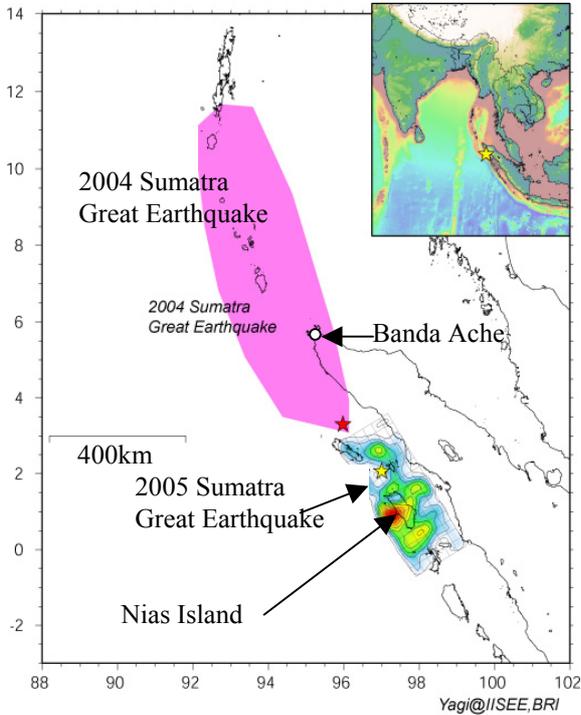


図-1 震央と断層 (八木の図(文献12)に加筆)



図-2 ニアス島に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 (バニヤック), 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ヤック諸島でも 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¹⁵⁾。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 12 月の地震の津波に比べ小さい。

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) からグスンシトリを結ぶ道路、グス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、グス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、ベアリー橋などであり、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 (イダノガウオ) 橋などがあげられる。北部のラファウ橋、ムゾイ橋では、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。

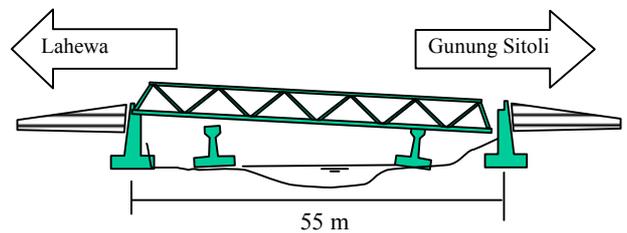


図-3 Lafau 橋の被害

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。イダノガウオ橋梁では、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て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。被害の様子を写真-1 に示す。

このほか、ラヘワとグヌンシトリ、グヌンシトリとテ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 1m 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、杓座から外れる被害が多く見られた。

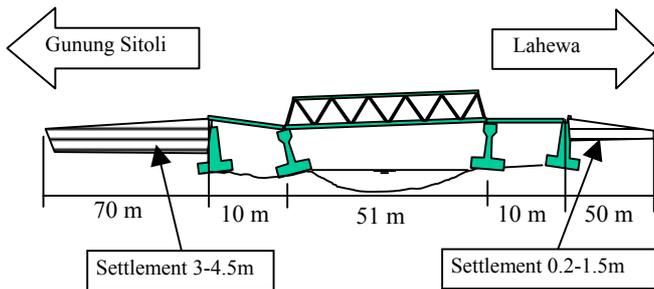


図-4 Muzoi 橋の被害



写真-1 Idano Gawo 橋の被害

(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 1m 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、表-3 と図-5 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、栈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、栈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。

(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写真-2 に示す。

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。液状化による建物の被害の様子を写真-3 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ている。



写真-2 パンケーキ崩壊した建物



写真-3 液状化や地盤の流動の RC 建物や橋梁への影響

5. 液状化

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。グヌンシトリの地盤の液状化が確認された海岸に近い地域や埋立地において採取した砂の粒径加積曲線を図-6 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。2 地点で実施したスウェーデン式サウンディング(SWS)試験結果とそれに基づいた液状化判定結果を図-7 に示す。液状化判定は建築基礎構造設計指針¹⁰⁾の方法を用い、地震動レベルが大きかったことから結局限界検討用の地震動相当として地表面加速度 350cm/s^2 とした。SWS の結果から海岸埋立地の shop house 地点では、表層の 3m は非常に緩い砂層であり、また、容易に液状化することがわかる。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予想される。この地点では、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。

一方 Governor's house も砂層が主体ではあるが相対的に N 値は大きく、部分的に液状化するという結果が得られた。この地点はやや標高が高く、建物周囲に亀裂など

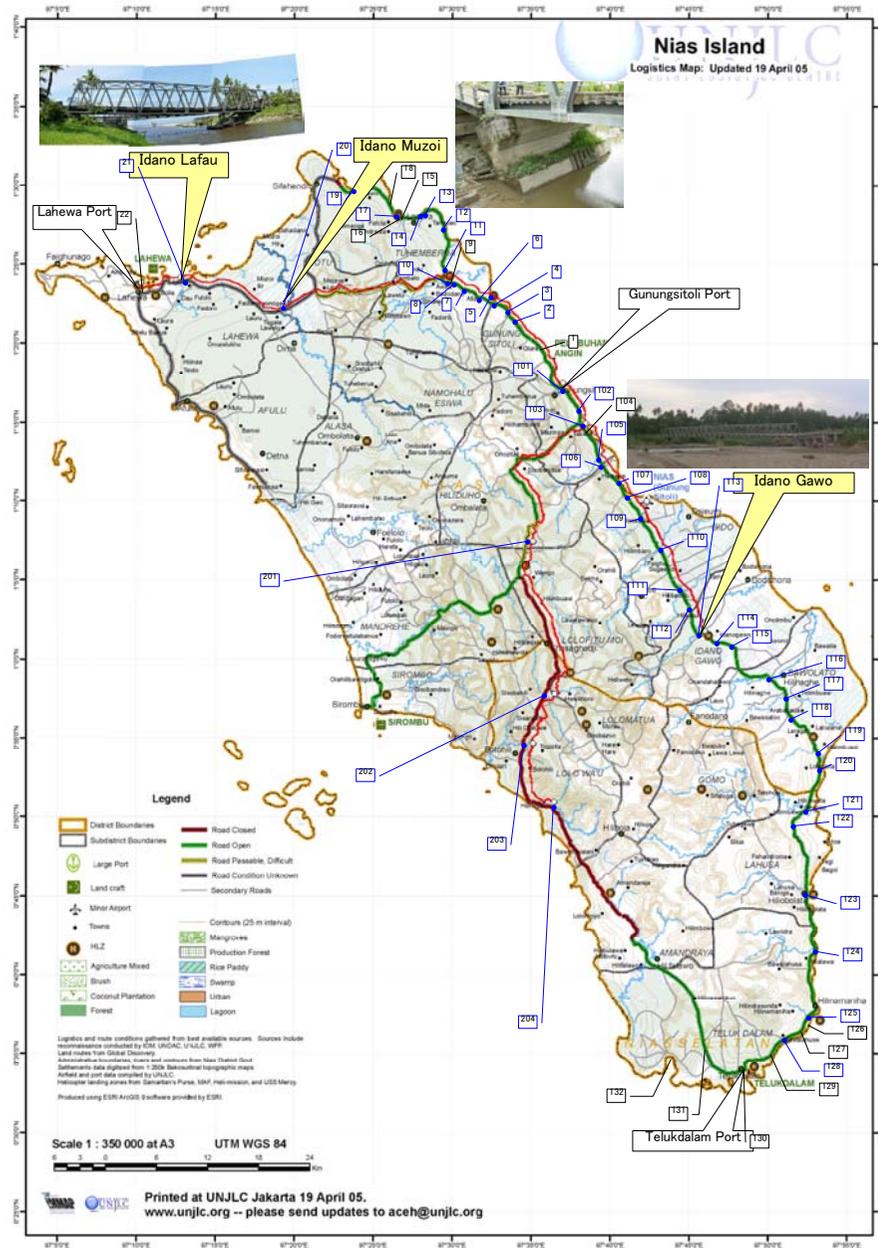


図-5 調査した橋梁と主な町

表-3 橋梁とその被害

| Point No | Subject | remarks |
|----------|---|---|
| 1 | East and North Coast Road of NIAS (Gunung Sitoli- Lahewa) 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=30cm) and settlement of the approach embankment, crack and movement of the retaining wall, lateral displacement of ground |
| 7 | (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 | crack, slope failure |
| 12 | (I-type steel beam girder+ wooden floor)/L=7.5m | No damage |
| 13 | (I-type steel beam girder+ wooden floor)/L=11m | Severe Crack and settlement(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, tsunami |
| 16 | Damage of the road | crack, liquefaction, tsunami |
| 17 | (I-type steel beam girder+ wooden floor)/L=19m | Crack and settlement of the approach embankment, difference in level (30cm), hardly to pass |
| 18 | Damage of the road | Crack, difference in level (50-100cm), hardly to pass |
| 19 | Sawo bridge: Truss 1Span 50m | Severe Liquefaction, Lateral Flow, Large amount of sand boil, Crack and settlement of the approach embankment, abutment of the left bank moved 30cm to the river |
| 20 | Muzoi Bridge RC 2span(10m each)+Truss 1span (51m) | Severe Liquefaction, Lateral Flow, settlement of the approach embankment (3-4.5m at the 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 |
| 21 | Lafau bridge Truss 1span 55m | Severe Liquefaction, Lateral Flow, settlement of the approach embankment, movement of the 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. |
| 101 | East and South Coast Road of NIAS (Gunung Sitoli- Telukdalam) | |
| 101 | Idano Goho bridge RC bridge 3 Span L=47m, Truss bridge 1Span | Lateral Flow, settlement of the approach embankment, movement of the abutment to the river, 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=25m | 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 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 Box Culvert bridge 28m on both side | Tilting of box culvert and pier at right side, Impassable after the earthquake |
| 114 | Truss bridge 1 Span L=30m | Crack and settlement (1.2m) of the right approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow, Truss moved |
| 115 | Idano Mizawa bridge Truss bridge 1 Span L=45m | Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow, Truss moved |
| 116 | Idano Mola Bridge Truss bridge 2 Span L=60m | Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow, Truss moved |
| 117 | Truss bridge 1 Span L=55m | Crack and settlement of the approach embankment, Fall down of the abutment, lateral flow, 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=34m | Truss moved |
| 124 | Truss bridge 3 Span L=90m | No damage |
| 125 | Truss bridge 1 Span L=30m | No damage |
| 127 | slope failure | Rock fall of porous limestone. |
| 128 | Bailey bridge +wooden floor L=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 a part of wharf sank into the sea and some pile heads were fractured by collision of wharf segment |
| 130 | Telukdalam port | segment |
| 131 | Traditional wooden house | Good performance |
| 132 | Sorake beach | Tsunami |
| | West Coast Road of NIAS (Gunung Sitoli- Terukdalam) | |
| 201 | Idano Ianosaruru bridge Bailey bridge 30.5m | twisted and deformed, Crack and settlement of the approach embankment |
| 202 | Idano Oyo bridge (I-type steel beam girder+Bailey bridge+wooden floor) 55m | pier is tilted, settlement of the approach embankment |
| 203 | Idan Siwarawa bridge (Bailey bridge+wooden floor) 30.5m | collapse of abutment |
| 204 | Idano O'ou bridge (Bailey bridge+wooden floor) 185m | Bailey bridge is deformed |

が生じたものの建物には大きな被害が生じていない。このように地盤調査結果は、液状化被害とその程度と調和的である。

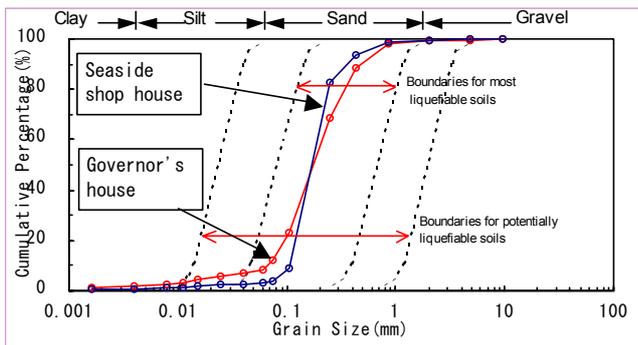


図-6 Gunung Sitoli の 2 地点における砂の粒径加積曲線

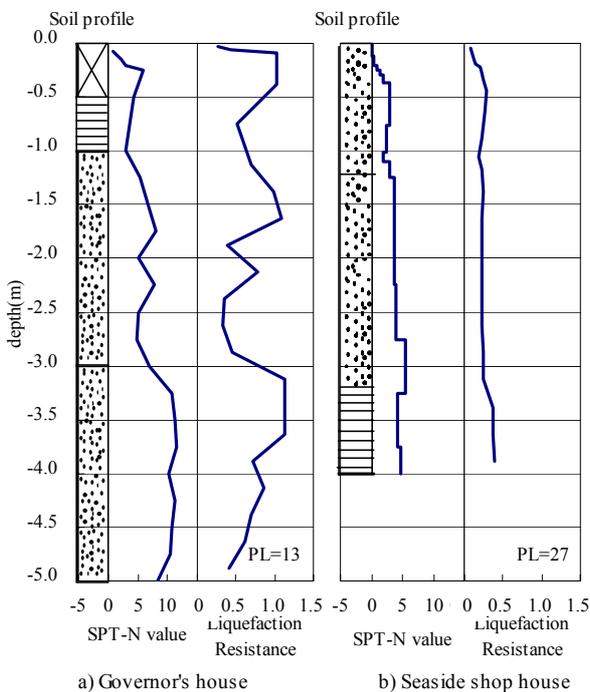


図-7 土質、スウェーデン式サウンディングから推定した N 値と液状化判定結果

6. 復旧復興支援活動の背景、目的と活動概要

2004 年 12 月 26 日のスマトラ沖地震に対し、土木学会はこれまで地震発生後、調査団を組織し、インドネシア・スマトラ島をはじめとする被災地に派遣し、この災害の実態の調査と被害原因等の分析を行っている¹⁾。また、被災地での防災教育の緊急性と重要性の高まりの中、防災教育支援活動を目的とした支援チームを編成し、被災国の教育省などとの連携のもと、4 月に第一陣をスマトラ島バンダアチェに派遣した²⁾。また、9 月には、防災教育活動の継続拡大をねらい、「早大防災教育支援会」「京大防災教育の会」による現地防災教育^{5),6)}が実施されている。さらに、2006 年 3 月には、2 つの地震の次の地震の発生が考えられる地域を対象に継続的な防災教育活動がなされている⁷⁾。

一方、2005 年 3 月 28 日のスマトラ沖地震は、前述のようにニアス島を中心に橋梁、港湾施設および建物・家屋に甚大な被害を発生させた。地震直後、被災した社会基盤施設の診断や補修、また応急復旧や復興が喫緊の課題であるとして、現地州政府から土木学会に対し、技術的支援の要請があった。これを受けて、2005 年 4 月に支援チームを被災地に派遣し、現地の行政官庁と連携し、応急復旧・復興に関しての支援・助言活動を行った²⁾。しかし、社会基盤や都市の復興に関しては、1 年経過した時点でも目途が立っていないのが現状であり、インドネシア工学会や州政府から引き続き復興支援の要請を受けている。復興計画を策定するためには被災地域の地盤条件が不可欠であるが、ボーリングデータ等の地盤資料は現時点で皆無の状態である。そこで、土木学会は民間機関やインドネシア工学会との協力のもとで、スウェーデン式サウンディング試験機器一式を寄贈し、簡易な地盤調査法を現地技術者に指導するとともに、調査結果をもとにした液状化の判定方法および地域の復興計画への反映方法を指導することを目的とした復興支援チームを 2006 年 1 月に派遣した³⁾。

7. 復旧復興支援活動の内容

2005 年 4 月には、被害調査結果を踏まえ道路、橋梁などの基盤施設の修復方法を現地政府に提言した。橋梁に関しては、橋台は液状化に伴う地盤流動などで大きく変形し、再建が必要な場合が多いものの、トラス構造などの上部構造の損傷が比較的軽微な場合が多いことから、損傷のない部分を最大限活用した再利用を考えた再建方法を提案した。道路幅も狭く、大型重機も搬入できない状況や、幹線道路を止めると経済活動に及ぼす影響が大きいことなどを考慮に入れて、通行止めの期間がない橋梁移設や増し杭による補強などの具体的な方法を提案した。また、今後の建設に関して、地盤調査や液状化を考慮した耐震設計の重要性についても日本の設計基準類が参考になることを指摘した。建築物に関しては、主筋や帯筋の量や定着方法、荷重を支えるための柱の太さ、柱梁接合部などの施工に関する項目の問題点に加え、基礎を地中梁で結ぶこと、液状化に耐えるようなべた基礎などを提案した。

これらの地震被害調査結果と復旧復興に関する提言については、現地において関係機関に報告する機会を設けた。ニアス島の県庁所在地グヌンシトリにある公共事業省事務所で現地の行政機関や建設会社などの技術者に報告会を実施した。北スマトラ州の首都メダンの州政府で副州知事や関係当局者に報告と提言を行った。これらの報告会では、非常に活発な議論がなされ、被害の復旧や復興が緊急の課題であることが実感された。

この支援活動で、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が指摘されたことを受けて、2006 年 1 月の支援活動は次の 3 点を中心にした。

- 1) スウェーデン式サウンディング試験による地盤調査法の指導
- 2) 地盤調査結果に基づいた支持力算定、液状化の判定法および対策方法の指導
- 3) 地盤調査結果の復興計画への反映方法の指導

地盤調査法に関しては、いままであまり実施されていないこと、現地での自主的、継続的な活用が必要であることから、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、結果の利用も簡単で広範囲であるスウェーデン式サウンディングを用いることとした。これらの活動を通じ、ニラス島等の被災地域の復興計画の策定に協力するとともに、専門分野の技術者の養成、自立的な復旧・復興活動にもつなげられると考えられる。また、あわせて、土木学会が編集した日本の耐震規定¹⁷⁾に加え、地盤工学会、国際地震工学会の協力を得て、液状化対策¹⁸⁾や世界の耐震規定¹⁹⁾の書籍などを関係機関に寄贈した。

8. インドネシア工学会土木部門との協力

2005年8月に土木学会は24番目の協定学会としてインドネシア工学会(PII)と協力協定を締結している²⁰⁾が、2006年1月の活動ではより一層の協力関係を推進するため、その土木部門(Civil Engineering College)の会長、副会長、事務局長ら幹部とのミーティングで協力を得、協力関係をより深めていくことを相互に確認した。インドネシア工学会からも支援活動に参加してもらい、JSCE-PII joint teamとして活動した。参加したメンバには、地盤調査とその活用方法の技術習得や現地技術者へのインドネシア語での説明など主体的に活動いただいた。

9. ニラス島での活動

ニラス島における活動では、県知事、県および公共事業省関係者またアチェニラス復興庁ニラス事務所の関係者に対して今回の活動の目的と内容を伝え、技術者の参加と活動への協力をお願いした。事前に協力要請を伝えてあったこともあり、ニラス島内の移動での協力および地盤調査の実地講習や教室での講習について積極的な技術者の参加を得ることができた。

ニラス島では、今後、現地技術者だけで地盤調査を実施し、その結果を用いて地盤の支持力や液状化抵抗が求められるように、2日間にわたりスウェーデン式サウンディングの実地講習と教室における使用法、活用法の講習を行った。スウェーデン式サウンディングによる地盤調査はグヌンシトリ市内で液状化の被害が顕著であった海岸近傍とやや標高が高い位置にある県知事公舎の2地点、橋脚やボックスカルバート橋脚が大きく傾斜したイダノ・ガオ橋で実施した。日本のメンバが調査するのではなく、現地技術者に手順を説明し、実際に試験を実施してもらった。夜には公共事業省の講堂で、試験法の復習・結果の活用法についての講習を実施した。現場での実地講習、夜遅くまでの教室での講習には、公共事業省の多くの現地技術者の参加を得ることができた。これらの講習を通じ、Joint Teamのインドネシア参加メンバを含め3名の技術者が試験法から結果の解釈まで行えるレベルまで技術の習得ができた。その中にはニラス島内の技術者も含まれており、今後の調査法の活用が期待できるものとなった。ニラス島で使用した機器は、ニラス県に寄贈した。以上のように、技術者に技術を移転したこと、機器を現地に寄贈したことで、今後県、公共事業省、アチェニラス復興庁の協力で現地での地盤調査に活用されることが期待される。写真-4と写真-5にニラス島でのスウェーデン式サウンディング試験の実地講習、写真-6

に教室での調査法と液状化判定などへの活用方法講習の様子を示す。



写真-4 Gunung Sitoliで暗くなるまで行なわれたスウェーデン式サウンディングの現地講習(被害を受けた建物はすべて撤去されて更地になっている)



写真-5 Idano Gawo橋におけるスウェーデン式サウンディングの現地講習



写真-6 ニラス島における地盤調査の教室での講習

10. 北スマトラ州政府(メダン)との協議とメダンでの活動

ニアス島での活動に先立ち、北スマトラ州の首都メダンで州知事や道路橋梁局、住宅建設局など関係当局者に活動計画の説明を行い、州政府から今回の活動への大きな期待が示された。特に道路橋梁局からは、ニアス島の復興やそれ以外の地域への液状化などの地震被害への備えが大きな課題であり、液状化被害とその対応策について非常に強い関心を持っていることが示された。その結果、急遽、メダンにおいても講習会を開催することが決まり、メダンの州政府道路橋梁局において開催した。大学の研究者や北スマトラ州内の各県の関係部門の代表者が集まり、活発な議論がなされた。この場で、道路橋梁局から、ニアス島以外の地域に対しても、各県ごとに試験機器を配置し、地盤調査を進め液状化などに対応していくことが表明された。そのためにも、プロトタイプとなる、もう一機のスウェーデン式サウンディング機器が、早期に日本から寄贈されることの要請がなされた。このように、今回の活動の目的である、地盤調査とその結果の設計や復興計画への有効活用という点は、現地で技術移転されただけでなく、北スマトラ州という地域全体の課題として、十分に理解を得られたと考えられる。写真-7に北スマトラ州政府との協議の様子を示す。



写真-7 北スマトラ州政府との打ち合わせ

1.1. 支援活動の今後の方向と課題

(1) 今後の方向

土木学会では、中長期的に被災地の復旧・復興に対して、学会および学会関連分野の技術者・研究者の参画を得て支援していくことが予定されている。学会の活動目標としても挙げられているように、土木技術者の「社会への直接貢献」が重要な課題と考えられる。災害の調査活動のみならず、防災教育や技術支援など、被災地域などへの支援活動を積極的に展開して行くことが望まれる。

地震で被害を受けた社会基盤構造物の復旧について、発災後直ちに支援グループを派遣し、現地行政機関等に提言と助言を行ったのは学会として今回がはじめてのことになる。今回の地盤調査技術の移転は、それに引き続く活動であり、事業全体としては、その最初の段階である。今後は、今回移転した技術が、現地で定着すること、またそれを利用して復興が進んでいくような継続的な支援活動が必要と考えられる。そのためには、現地政府などの行政機関、インドネシア工学会、地元大学、民間企業、市民などとの協力関係を構築し発展させていくことや国内においては、継続的支援ができる人材確保と資

金獲得の仕組みづくりが重要である。

今回の活動のさなかに、インドネシア・ジャワ島では、洪水や斜面崩壊により多数の死者が出る災害が発生した。また、2006年5月27日にはジャワ島中部でM6.3の地震が発生し、5000人を越える死者が出ている。地震災害に限らず、また国内外を問わず、土木学会の「社会への直接的な貢献」として、自然災害の軽減に向けた幅広い支援活動の必要性があると考えられる。

(2) 日本国内の市民や関係機関との連携

今回の活動は、(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。今後、土木学会の活動理念のひとつである「社会への直接的な貢献」活動として、自然災害による被災地域の復旧と復興のための支援、自然災害軽減技術の普及、防災教育の実践といった課題に関する広範な活動を進めていくには、継続的活動ができる人材や資金などさまざまな課題を解決しなければならない。その場合、土木学会という枠にとらわれず、国際支援に関わる公的機関あるいは市民団体や市民との連携・協力、産業界からの支援、日本建築学会など関連する他学会からの支援を受けてより自由な立場で活動できるNPOとの連携が有力な方法となる。このような考えに基づいて、NPO法人「国境なき技師団」が設立されている²¹⁾。国際支援や災害支援に関わる既存のNPOとの連携・協力、市民団体や一般市民の連携・参加・支援、産業界からの支援、他学会からの支援など活動をより広範にし、一般市民にも開かれたものとするのが可能となる。NPOやNGOを支援する公的機関や民間企業、団体からの活動資金獲得もより自由度が高くなる。また、このような活動を支援する行政機関などとの緊密な関係を構築していく必要があると考えられる。現地においても、インドネシア大使館、メダン総領事館から今回の活動や今後の活動の体制づくりなどに関して助言を受けたが、支援の全体像を示す計画の提示により外交や資金面を含めた継続的な協議が必要である。防災教育においては、大学の学生の活動を盛り上げ、ネットワークを構築するなどした幅広い草の根的な活動も重要である。また、支援が散発的であると、支援が定着しにくい。現地で継続的に支援活動ができる人材の確保と派遣できる支援体制の構築が大きな課題である。

(3) 現地機関との連携

今回の活動は、インドネシア工学会や州政府・県などのほかに、民間のさまざまな機関の協力のもとで実施することができた。現地の政府機関や学会、大学などとの連携はもちろん、在日の大使館や領事館との協力関係構築も必要である。

民間機関の技術者との継続的な協力体制構築は、現地での活動を十分に効果あるものにするためには非常に重要である。今回も地盤調査会社の技術者2名、建設会社の職員4名の派遣協力を受け、それぞれ地盤調査手法およびその結果の活用方法の習得、さらに、現地技術者へのインドネシア語での技術説明、およびメダンやニアス島でのロジスティックス、インドネシア語での技術資料準備、地盤調査機器の現地での手配や輸送、機器の不具合の応急処置などに多大な協力をいただいた。これらの機関の支援がなければ十分な成果が挙げられなかったことは言うまでもない。

(4) 機器の調達

試験機器は、日本からの輸送も検討したが、輸送費が

高価なこと、および輸送手続きに期間がかかること、インドネシア国内での通関手続きが非常に複雑であることなど活動期間に間に合わない可能性があったため、インドネシア国内で調達した。しかし、ニマス島で機器を確認した時点で、試験で非常に重要なスクリーポイントの形状がまったく違うことや、ロッドのねじの規格が違うこと、荷重用のクランプの形状が違うこと、引き抜き機が機能しないことなど、多くの問題が判明した。現地での調整で事なきを得たが、今後、技術移転を考える場合には、現地で継続的に使われるように、簡単な機器を用いることとともに、プロトタイプを寄贈するなど、機器の製作までを含めた技術の伝承を考える必要がある。

12. 結論

2005年3月28日のスマトラ島沖地震の被害と復旧復興支援活動は以下のようにまとめられる。

- 1)2005年3月28日のスマトラ島沖地震(M8.7)では、ニマ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、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階を超えるRC構造物の多くが倒壊しただけではなく、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)グヌンシトリ市内でスウェーデン式サウンディングを実施し、液状化被害が顕著であった海岸および河岸付近では、緩い砂層が堆積し非常に液状化しやすいことがわかった。
- 5)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。地震直後に支援グループを派遣し、現地行政機関等に提言と助言を行った。また、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、地盤調査技術の移転を実施した。
- 6)土木技術者の「社会への直接貢献」のため、災害の調査活動のみならず、防災教育や技術支援など被災地域などへの支援活動を積極的に展開して行くことが望まれる。
- 7)支援活動の継続的な実施のため、NPO活動の実施や国内外の各機関との協力関係構築などの課題を挙げた。

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氏からは、技術者2名を派遣いただいた。建設会社のWijaya Karya社からは4名の職員に同行いただいた。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。この機器は、早期に現地へ送付し調査活動に活用してもらう予定である。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資料提供そのほかの準備の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

- 1) 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・ニマス島地震応急復旧・復興支援チーム：「インドネシア・ニマス島地震応急復旧・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・ニマス島復興支援チーム-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，鈴木智治：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。
- 7) 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，p.91，2006。
- 8) 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.
- 9) 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・ニマス島の地盤災害，第41回地盤工学会研究発表会，(投稿中)，2006。
- 10) 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/>
- 11) Harvard: Harvard Centroid Moment Tensor, Department of Earth and Planetary Sciences, Harvard University, Cambridge, MA, USA.
- 12) 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>
- 13) 山中佳子: 3月28日のインドネシアの地震(M8.7)，EIC地震学ノート，No.164，2005。
- 14) 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-INDN>
- 15) ピースウインズジャパン：パ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
- 16) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001。
- 17) JSCE: Earthquake Resistant Design Codes in Japan, January, 2000.
- 18) Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering, TC4, ISSMGE: Case Histories of Post-Liquefaction Remediation, p.117, JGS, 2001.
- 19) Regulation for Seismic Design, A World List-2004, IAEE, 2004.
- 20) 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。
- 21) 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。