

# (1) フィリピン・ルソン地震におけるリングエン湾沿岸地域の液状化被害と地盤条件

早稲田大学○若松 加寿江 佐藤工業 吉田 望  
清水建設 田蔵 隆 東海大学 浜田 政則

## 1. はじめに

1990年7月16日のフィリピン・ルソン島地震では、ルソン島北西部のリングエン湾に面した広い地域で液状化が発生した(図1)。本報では、現地調査によりリングエン湾沿岸地域の構造物被害と液状化との関係を明らかにし、これらの地域における地形・地盤条件をボーリングなどの地盤調査結果に基づき考察する。

## 2. ダグバン市における液状化被害と地盤特性

2.1 被害の概要 今回の地震でダグバン市では、建物の沈下・傾斜、マグサイサイ橋の落橋、上下水道管の破損、配電柱の沈下・傾斜、川岸の側方移動などの被害が発生した。

図2に、現地視察およびヒアリング調査により液状化が発生したことを確認した(噴砂が認められた)地域、液状化の痕跡が認められなかった地域、および地盤の側方移動が発生した地域を示す。現時点では地震前後の航空写真が入手できないため、側方移動による正確な変位量は不明であるが、現地での測量や住民の証言によれば、河岸部で少なくとも3~8mに達したと推定される。

図3は図2の市街地部分を拡大したものである。市街地には2~5階建てのRC造建物や木造建物が密集している。図3には、このうち主な建物の被害状況を示す。

マグサイサイ橋周辺では兩岸の地盤が河心に向かって3~6m動いたと推定される。川岸に建つ病院、学校、市場、住宅などが基礎地盤に引きずられて傾斜・破断していた。

ベレス通り中心部では、図3①のビルが約18度傾斜するなどの被害が発生した。住民によれば、「この付近はベレス通りの中でも噴砂が最も激しく、通りの両側には幅1~2mの地割れができた。地盤が全体に北側のクリークの方へ動き、図中②の建物は3m北方へ移動した。地震前には5mあったクリークの川幅が地震後2.5~3mに狭まった。この辺りは元養魚池で1950年頃に椰子の葉で埋め、1960年頃海岸の砂で埋め立てた」と証言している。付近を調査した結果、通りと直角方向に建つブロック塀は何れも北側のクリークの方へ移動し破断しており、クリーク沿いに建つ塀ははらみ出し、川側へ傾斜していた。また上記②の建物前の車道と歩道の舗装盤は約3m離れているなど、上述の証言を裏付けるような痕跡が認められた。しかし、ベレス通りの南側の構造物には側方移動の影響は認められなかった。

図3の③では、造られたばかりの護岸(断面25cm×60cm、長さ9mのRC製シートパイルが地表から約7.5mの深さまで打設されており、パイルは3mごとに長さ5mのタイロッドで控え版に繋がれている)が約10m河心方向に押し出されていた。住民によると、「沿岸の家屋はいずれも川方向へ動き、多数の家が流失した」とのことである。

噴砂等が認められなかった市街地西部では、煉瓦造のカソリック教会の塔の崩壊(図3の④)、建物の外壁の倒壊(同図⑤)、屋根が落下(同図⑥)などの振動による被害がいくつか散見されただけである。

2.2 ダグバン市の土地の履歴と地盤特性 ダグバン市はリングエン湾に注ぐアグノ川の形成したデルタ上に発達した人口約11万人の都市である。デルタ前面の海岸線に沿って幾筋もの砂州や砂丘が発達しており、砂州・砂丘間の湿地帯には無数の養魚池が造られている。市街地は湿地帯の背後のパンタル川(アグノ川の支流)沿岸に立地している。文献1)によると、市の沿革は以下のものである。ダグバン市に集落ができたのは1590年頃で、その後1891年マニラ・ダグバン鉄道(現在は廃線)の開通を機に現在の市街地西部(図3の④付近と推定される)に商業センターができた。その頃は、A.B.フェルナンデス通りの大部分は湿地だった。1908年に商業センターはキントス橋東方まで拡大した。1948年に湿地を埋立てベレス通りとマグサイサイ橋が建造された。

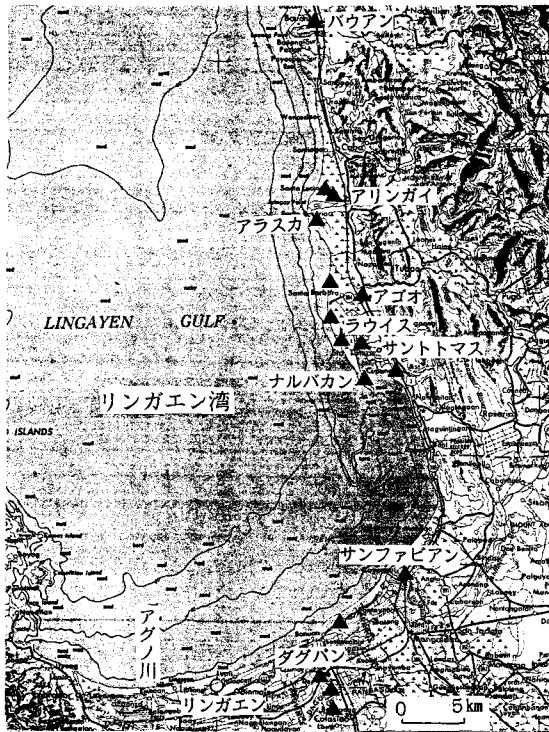


図1 リンガエン湾岸地域の液状化発生地点

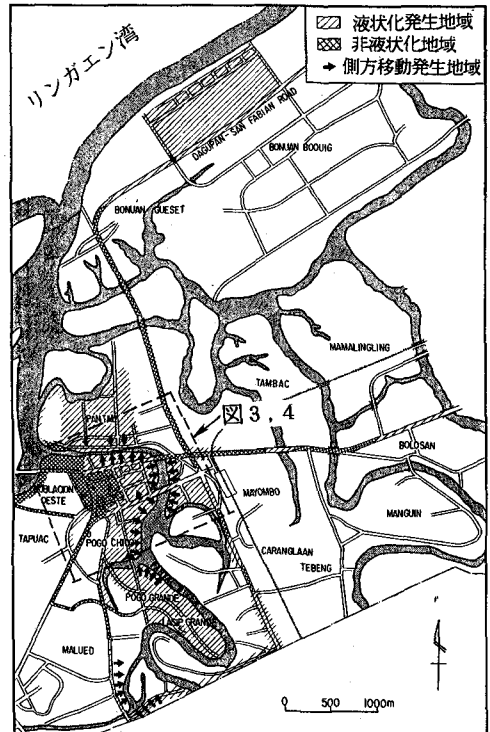


図2 ダグバン市における液状化発生地域・非液状化地域と側方移動発生地域

住人によると、「パントル川とクリークに囲まれた半円形の地域はニッパ（椰子）の生える低湿地や養魚池だったが、ペレス通りができてから徐々に造成された」とのことである。1950～1960年頃に測量したと推定される地形図には、ペレス通りの北側の一部とマグサイサイ橋の両岸には水面が残っている（図4）。

ダグバン市は地震後市内21箇所でボーリング調査と標準貫入試験

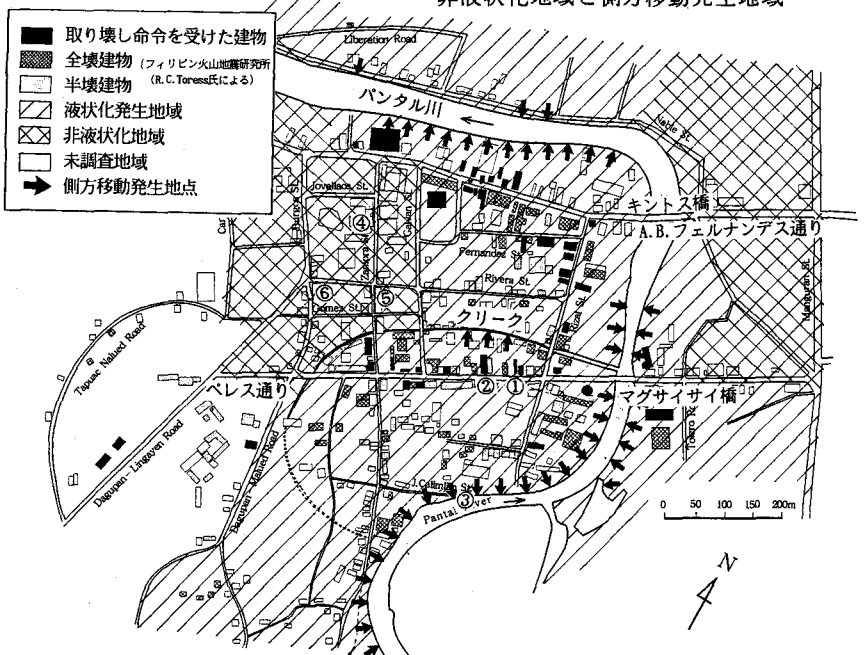


図3 ダグバン市街地における建物の被害分布と液状化発生地域・非液状化地域

を実施している。さらに、筆者らも8箇所でスウェーデン式サウンディング調査を行った。これらの調査結果をもとに市街地の6断面について地層断面図を作成し、「道路橋示方書・同解説」の方法により液状化層を推定した（図5）。なお、液状化解析に際して、両国で行われている標準貫入試験の打撃効率の違い<sup>2)</sup>を

考慮し、図に示すN値は2分の1を乗じて補正した。また、地表最大加速度は、推定値200gal<sup>3)</sup>を適用した。液状化解析の結果、図5に示すパンタル川の河床堆積物(As<sub>1</sub>)および地下水位以下の盛土・埋土(B)が液状化したと推定された。

図6に、マグサイサイ橋付近のボーリング孔から採取されたAs<sub>1</sub>層とAc層のサンプルと、その周辺での噴砂の粒径加積曲線を比較して示す。ボーリング孔の砂の粒径加積曲線はダグバン市が行った粒度試験結果に基づいており、噴砂は地震の約2ヶ月後に筆者らが採取したものである。Ac層の土は細粒分を90%以上、粘土分を30%含んでおり、液状化を起こす可能性はまずないと考えられる。これに対して、As<sub>1</sub>層の砂は平均粒径D<sub>50</sub>=0.2mm程度の均一な細砂で、液状化しやすい粒度特性を有している。噴砂は降雨等により細粒分が流されてしまった可能性はあるが、As<sub>1</sub>層の砂と極めて似ていることから、液状化したのは主としてこのAs<sub>1</sub>層と推定される。このことは液状化解析結果とも符合している。

図7はダグバン市における表層の非液状化層厚とその下の液状化層厚の関係を示している。液状化地域では推定液状化層が5~10mと厚く、表層部の非液状化層が3m以下と薄かったことが分かる。これに対して、非液状化地域では推定液状化層の厚さが3m以下で、表層部に3m以上の非液状化層が存在する。図には最大加速度200galで液状化被害が現れる限界線<sup>4)</sup>も併せて示した。今回のダグバン市における事例は概ねこの限界線の内側に入っている。なお、前述のように、図3の③のパンタル川の護岸に深さ7.5mまで打ち込まれた杭が、大きく移動したことから、液状化層の下限が深さ7~8m以上に及んだと推察される。

### 3. リンガエン湾東岸地域の液状化被害と地盤特性

サントトマス<sup>5)</sup>の西方には半島状の砂州が発達している(図1)。その先端部にあるナルバカン村では、集落全域が海没するというドラマチックな地盤変状が見られた。村長は地震当時の状況を以下のように語っている。「この村の祖先は約100年前Ilcos Sor州のナルバカンから移住してきた。地震前の人口は約1000人、360世帯、家屋数約150棟の漁村で、集落は本土に面した入り江付近にあった。地震後すぐに外に出ると到る所で熱い地下水を噴き出していた。海中でも水柱が上がっていた。その後ゆっくり土地が沈んで行った。最初1m位沈み、あとは徐々に沈んだ。30分位沈み続けたようだった。沈んだ範囲は400m×200mのエリアで、沈下量は1~3mで満潮時には家の軒先まで浸水するようになった。地震後本土側の土地が約10m広がった」。

筆者らは地震の約2ヶ月後に現地を訪れた際、干潮時に2箇所ですウェーデン式サウンディング調査を行った。その結果を図8に示す。表層部にごく薄いシルト層があり、その下は-2.5~-3.5mまではN<sub>sw</sub>が60以下、N値に換算して10程度以下の緩い砂層である。以上のことを総合すると、ナルバカンでは液状化に起因して地盤沈下および側方移動が発生し、そのために村全体の土地が大きく沈下したと推察される。

ナルバカンと同様な村落の海没は、アリンガイ西部のアラスカ地区(全265世帯)、サントトマス北西のラウイスという集落でも起きている。なお、筆者はかねてより約400年前の慶長元年の地震で別府湾に沈んだと伝えられる瓜生島について調査してきたが、この場合も島の沈没の原因は液状化であったとの結論を得ている<sup>5)</sup>。今回のフィリピン地震で村落が海没した地域の地形的特性も、瓜生島の場合と極めて似ている。

### 4. まとめ

本調査により以下のことが明らかとなった。1)ダグバン市では、市街地の地下に広く分布する緩い細砂層(パンタル川の河床砂)が液状化したことにより、構造物が顕著な被害を受けた。2)液状化被害が見られた地域では、推定液状化層が5~10mと厚く、表層部の非液状化層が約3m以下であった。4)ダグバン市で液状化被害が特に顕著であった地域の中には、数10年前に養魚池を埋め立てた地域が含まれていた。この地域では、前述1)の細砂層に加えて表層の埋立層が液状化したこと、地盤の側方移動が発生したことが被害を大きくしたと推定される。5)リンガエン湾東部では大規模な地盤沈下が発生した。この原因は、液状化および地盤の側方移動によると推定される。

本調査は、(財)地震予知総合研究振興会で組織された調査団(団長:浜田政則)によって行われたものである。調査団の各位に感謝の意を表する次第である。

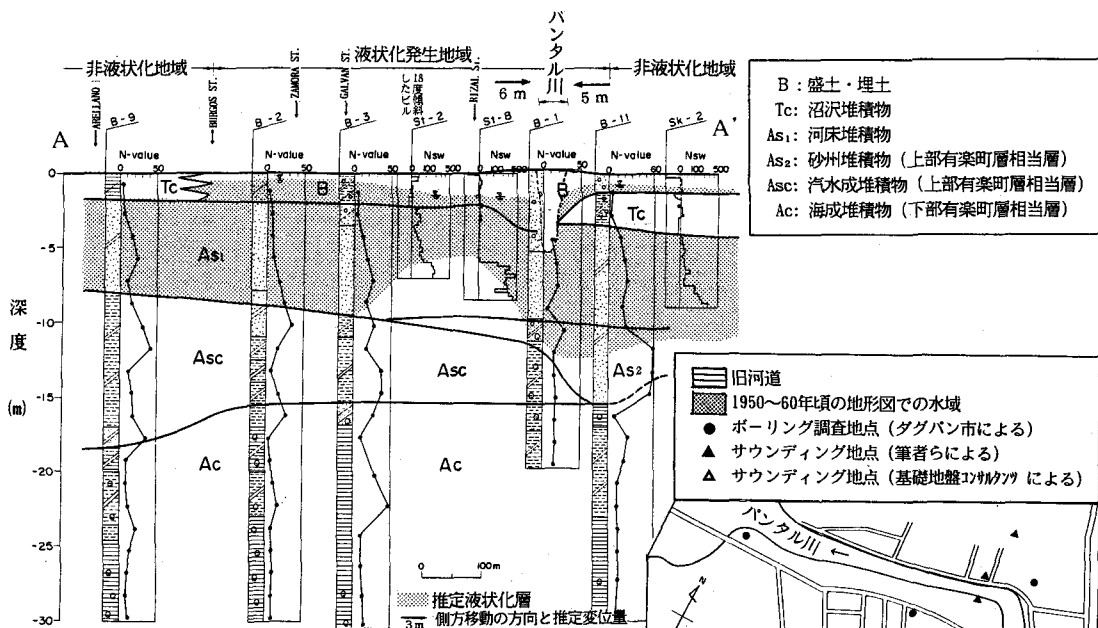


図5 ベレス通りに沿った地層断面図と推定液状化層

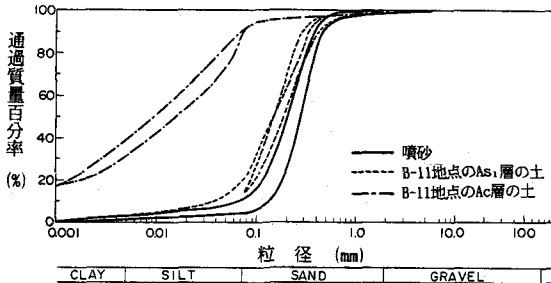


図6 マグサイサイ橋付近の噴砂とボーリング孔から採取された土の粒径加積曲線

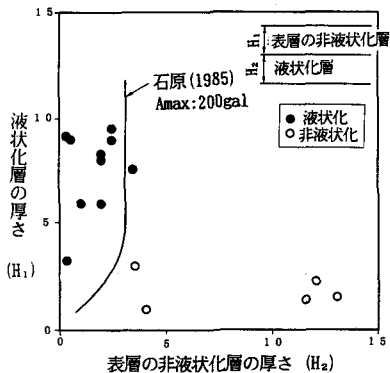


図7 液状化発生地域・非液状化地域における液状化層厚と非液状化層厚との関係



図4 ダグバン市街地における旧河道と1950~1960年頃の水域の分布

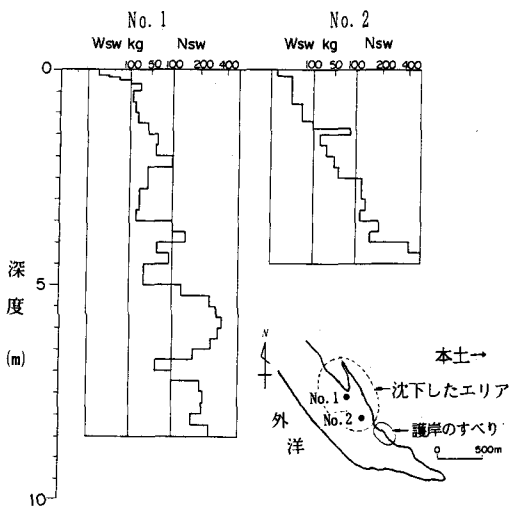


図8 ナルバカンにおけるスウェーデン式サウンディング調査結果

参考文献

- 1) Punongbayan, R. S. and Torres, R. C.: Correlation of river channel reclamation and liquefaction damage of the 16 July 1990 Luzon earthquake in Dagupan City, Philippines, Philippine Institute of Volcanology and Seismology, 1991.
- 2) 基礎地盤コンサルタンツ(株): 1990年7月16日ルソン地震調査報告書, 1990.
- 3) 佐藤忠信: Cabanatuan地域の被害-最大加速度の推定-, 土木学会フィリピン共和国地震報告会資料, pp. 6-7, 1990.
- 4) Ishihara, K.: Stability of Natural deposits during earthquakes, Proc. of the 11th ICSMFE, Vol. 1, pp. 321-376, 1985.
- 5) 東海大学瓜生島調査会: 瓜生島の謎を探る-別府湾の地形・土質総合調査-, 1990.