

## III-134 フィリピン地震によるルソン島中部の液状化被害の概要

東北大学工学部 ○柳沢 栄司  
 東洋建設技術本部 小竹 望  
 大林組技術研究所 鳥井原 誠

## 1 まえがき

1990年7月16日にフィリピンのルソン島中部に大きな地震が発生し、一部の地域では土木構造物および建築構造物が著しく損傷を受け、崩壊した構造物のため多数の死傷者が出た。この地震の大きな特徴は、非常に長い大規模な断層が地表に現れたことおよび液状化による構造物被害が顕著であったことなどがあげられる。筆者等は、土木学会フィリピン地震被害調査団の一員として、構造物被害の概況調査のほかに液状化した地盤の特性や被害の原因などを調査する機会を得た。この報告は、フィリピン地震によるルソン島中西部海岸付近の液状化被害の概要を報告するものである。

## 2 ルソン島中西部の液状化被害について

アメリカ地質調査所の発表によれば、この地震の震源は北緯15.658度、統計121.227度、深さ25kmであり、マグニチュードは7.8であった。地震の発生時刻は、現地時間で1990年7月16日16時26分34秒であり、その後18日にM6.1とM6.6の強い余震が発生している。本震は、二つのイベントが約20秒の間隔で発生したといわれており、断層運動が二つの部分に分かれていたものとされている<sup>1)</sup>。

ルソン島中西部の液状化被害は、主にAgoo付近からDagupan市にかけての海岸付近の平地に集中している。特にSt.ThomasおよびAringai付近では、液状化に起因する地盤変状によって村落一体が沈下したため満潮時に、床上まで海水が上がるようになった例もある。Agooの近傍のSan Icidroでの特異な噴泥について、山崎(淳)らは非常に興味深い報告をしている。すなわち、少なくとも3箇所の、直径4mほどの噴砂孔から噴泥があり、約3m程の高さまで吹き上げたと言う。吹き出した泥水は灰色で非常に熱く、魚が煮えるほどであり、かつ、硫黄の臭いがしたと言う<sup>2)</sup>。実際、この地点で採取した試料からは硫黄分が検出された。Agooの近くには温泉はないが、20kmほど離れたところにはあるとのことである。

Dagupan市では、市内への重要な交通路となっているMagsaysay橋が落橋し、また、市街地の中心部ほとんどの建物や電柱などが、液状化によって沈下・傾斜・破壊などの被災を受け、電気・水道などライフラインも多大な被害を蒙って機能が停止したため、市民生活は大きな影響を受けた。ここでは、液状化の被害の典型であるガソリタンクや下水道管の浮上、ライフラインの被害など、大規模な地盤の変形にともなう構造物被害が随所で発生していた。これ以外の地点では、例えば、San Fernandoにおいては栈橋の取付け部の護岸に続く埋立地で地割れにともなう噴泥が認められたばかりでなく、後背地の石油施設においてタンクの砂のマウンドに液状化の痕跡が認められた。

## 3 液状化した砂の性質

この地震に際して砂地盤の液状化現象が明らかに発生したと考えられる地点で砂のサンプリングを行なったが、幾つかの地点では同時にポータブルコーン貫入試験による地盤調査を行なった。表-1は、採取した試料の試験結果の一覧を示したものであるが、表中の液状化強度 $R_{120}$ は、現場密度に締固めた砂の等方圧状態での単純せん断による液状化強度を示したものである。これらの砂は一般に砂鉄分を多く含むため比重がやや大きく、細粒分が少ないのが特長的である。図-1は、細粒分含有率と $N_{1=20}$ の液状化強度との関係が示すが、白抜きは値はロマブリエタ地震における液状化した砂の値を示し、黒丸は

フィリピン地震の液状化した砂の値を示している。フィリピン地震の場合では細粒分の含有率がかなり少ないことが知られる。これは、ロマブリエタ地震では埋立

表-1 液状化砂の試験結果

NO.	Location	$\gamma_d$ (kg/cm <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	FC(%)	Clay Cont (%)	D <sub>50</sub> (mm)	U <sub>c</sub>	Rl <sub>20</sub>	$\theta_{min}$	$\theta_{max}$	D <sub>r</sub> (%)
NO.1	San Fernando	1.496	2.701	11	1	0.19	3.1	—	0.716	1.123	82.4
NO.2	Aringal Bridge	1.225	2.751	10	0	0.32	5.4	0.16	—	—	—
NO.3	Dagupan(liquefied)	—	2.759	17	0	0.125	2.5	—	—	—	—
NO.4	Dagupan	1.515	2.790	2	0	0.25	2.2	0.165	0.636	1.197	63.3
NO.5	Carmen Bridge	1.285	2.749	64	2	0.053	3.9	—	—	—	—
NO.6	Carmen Bridge(liquefied)	—	2.745	24	0	0.19	6.7	—	0.547	1.107	—
NO.7	Cayanga Bridge	—	2.815	15	0	0.20	5.2	—	0.643	1.316	—
NO.8	Agoo	1.436	2.759	13	0	0.14	2.4	0.152	0.753	1.339	71.3
NO.9	Agoo(liquefied)	—	2.766	13	0	0.12	2.0	—	—	—	—

地盤の液状化が多かったのに対し、フィリピン地震では自然地盤の液状化が多かったことに関連があるものと考えられる。

筆者らは、Dagupan市のMagsaysay橋の左岸側橋台付近およびCarmen橋の上流側両岸におけるポータブルコーン貫入試験を実施したが、Dagupan市の試験結果では、被害の著しい地区では表層付近には貫入抵抗0のかなり緩い砂層が地表面近くには堆積しているのに対し、被害の小さい地区では貫入抵抗が地表面から比較的大きいことが知られた。Dagupan地区は、元来、沖積の軟弱な粘土層、シルト層、砂層およびその互層からなるが、表面付近には緩い砂が分布している。建物や構造物は、主として田圃や養殖池を埋め立てた造成地に建てられているものが多いと言われている。表層付近の砂層が液状化したか否かが一般民家の被害の程度に大きく影響した可能性は十分に考えられる。DPWHによって実施された市内での標準貫入試験結果によれば、地表面下約6-10mのところに比較的N値の高い密な砂層があるので、この砂層が杭基礎の支持層とされていたものと思われる。Carmen橋上流側の貫入試験結果では、地表に近い部分の貫入抵抗がかなり大きい場合もあり、固結度の高い砂層が存在しているようであるが、この下位の砂層が液状化したものと思われる。

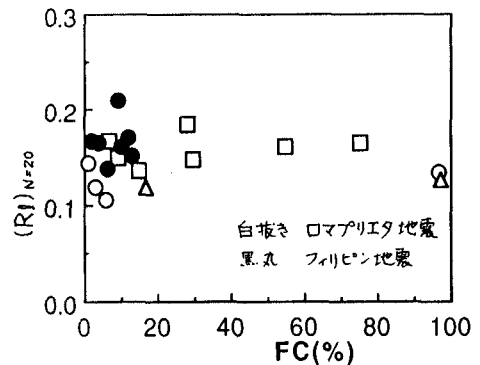


図-1 細粒分含有量と液状化強度の関係

#### 4 あとがき

フィリピン地震における液状化災害について調査結果の概要を報告したが、地震記録が欠如しているため定量的な考察が不可能であった。また、この度の調査期間中、フィリピンはたまたま雨期にあたり、連日強い降雨があり、復旧の遅れもあって多くの被災構造物については被災状態をそのまま詳細に観察することができたが、液状化災害については降雨や出水のため既に痕跡が流されて正確な判断ができない箇所が多かった。

#### 参考文献

- 1) 阿部勝征：フィリピン地震—地震と断層：土木学会フィリピン共和国地震(1990.7.16)報告会資料、pp. 4-5
- 2) 柳沢栄司：Dagupan地域の被害について：同上、pp. 10-11