

清田 隆 Kiyota Takashi

東京大学 生産技術研究所 基礎系部門 教授
2023年～24年 J-RAPID 研究代表者

大地震で建物が被災する際、原因が建物そのものの耐震強度不足にあるとは限らない。建物を支える地盤やその特性もまた被害につながる。液状化が起きれば沈下や傾斜が生じ、建物が基礎ごと斜面崩壊に巻き込まれることもある。東京大学生産技術研究所基礎系部門の清田隆教授は、軟弱地盤が分布する2地域で現地調査を実施。建物被害と地盤特性を地図に落とし込み、互いの相関を明らかにしたほか、膨大な計測データをウェブ上で公開する。

特集
OVERVIEW

建物被害と地盤特性の相関を明らかに

地盤被害多い2地域が対象 前回調査で適地として把握

地震時には地盤が建物に地震動を伝える。地震被害の危険性を推し量るためには、強度や剛性、振動特性といった「地盤特性」を事前に解析・把握しておく必要がある。地盤の強度は建物を支持する力に関係し、剛性や振動特性は建物の揺れ方を左右するからだ。J-RAPIDの共同研究チームで代表者を務める東京大学生産技術研究所基礎系部門の清田隆教授は、国内外の大震災でこの地盤特性を調査してきた。「大地震が起きるとまず、手弁当でも現地を訪ね、地盤特性の観点から建物被害のメカニズムを解き明かそうとしてきました」。

カフラマンマラシュ地震も例外ではない。清田さんは発災から約2カ月後に日本建築学会・地震工学会・土木学会・地盤工学会の合同調査団として現地を訪れた。「どこでどんな被害が生じているかがわからず、あちこち動き回りました」と清田さんは当時の様子を振り返る。さまざまな地盤災害を調査する中で、東アナトリア断層系の北東側に位置するギョルバシュと南西側に位置するイスケン

デルンという2つの地域に目を向けた(図1)。ともに地盤特性に起因する建物被害が多く見られた(図2)。

その後、J-RAPIDに提案した研究課題が採択され、半年後に再びトルコを訪れた。調査地点は、合同調査団の調査で適地として把握していたギョルバシュとイスケンデルンだ。ここでは、建物被害のメカニズム解明に向けた調査に、研究パートナーであるボアジチ大学と共に取り組んだ。研究課題は地盤特性と建物被害の相関の解明。「トルコには、構造物の情報に比べ地盤の情報が入り込んでいなかったため、被害に直結する地盤の特性とその空間分布の把握に着目した調査を想定しました」と清田さんは振り返る。

研究パートナーとの出会い J-RAPID応募の原動力に

発災後の現地合同調査団には、トルコ側の研究者も参画した。調査のために現地の研究者と車で各地を訪れ、長い時間を共に過ごした。それが、これまでトルコとつながりなかった清田さんにはJ-RAPIDに応募する原動力にもなったという。「まず信頼できる優秀な研究パートナーと出会うことができたのは、非常に大きかったです。さらに合同調査団での調査を終えた段階で、今後どんな調査を進めていくべきか、互いに協議・検討し、整理できたのも良かったですね」。

図1 調査した地域

現地調査

合同調査団による調査

2023年3月29日-4月2日

J-RAPIDによる調査

2023年10月14日-21日

2024年6月12日-14日



写真右の青い線が東アナトリア断層で、黄色い印は震源を示す。写真左下は、表面波探査法に用いるセンサーを設置している様子。

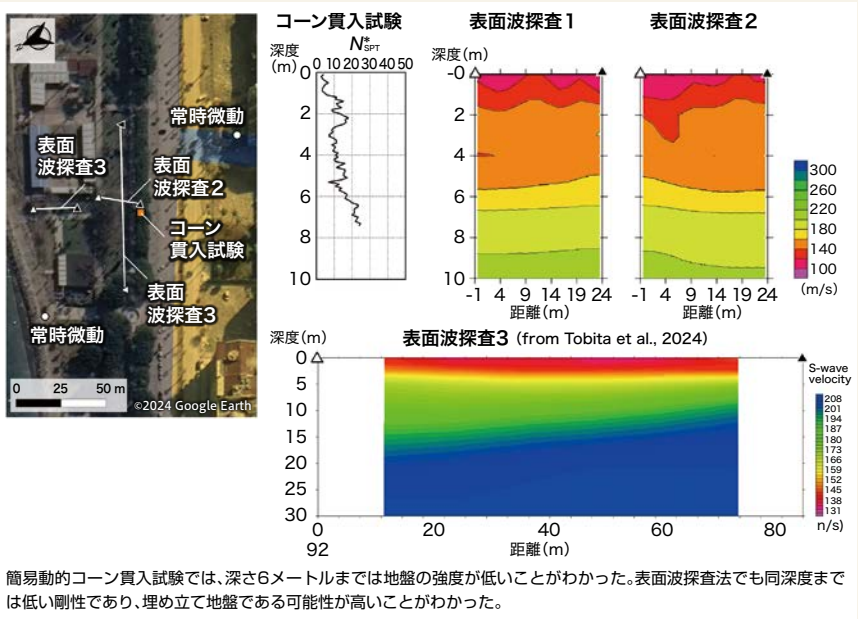
そこで整理した研究課題こそ、J-RAPIDで採択されたものだ。「合同調査団の調査では、建物被害が地盤変状に由来するのか、地震動による構造の損傷に由来するのか、その差が明確でした。そこで、地域内での地盤特性の違いを調べることにしたのです」と清田さんは説明する。地盤の強度は「簡易動的コーン貫入試験」で評価する。これは、先端をコーン状にとがせた棒をおもりの落下エネルギーで地面に貫入させ、抵抗を測る試験法で、その値によって地盤の支持力がわかる。

図2 ギョルバシュの被害状況



地盤の剛性を調べるためには「表面波探査法」を用いる。これは、測線の端に振動を与え、地盤中を伝わる波動を測線上のセンサーで計測するという探査法だ。地盤の深さ方向のS波速度構造を解明することに役立つ(図3)。振動特性を調べるためには、地盤のごく微小な常時の揺れを計測する「微動計」を用いる。これは発生頻度が最も多く、建物に大きな影響を与える卓越周期を計測結果から推定できるものだ。

図3 イスケンデルンでの調査結果



日本の想定外地盤で液状化発生原因、今後の検討課題

これらの調査で得られたデータを基に、地盤特性と建物被害をハザードマップとして地図に落とし込み、互いの相関を確かめた。その上で、それが旧地形とも関係することを指摘できた。例えば、イスケンデルンの市街地周縁部はかつて湿地帯であったが、そこでは建物の倒壊が顕著であった。また、海岸沿いの埋め立て地周辺では建物自体の損傷よりも沈下や傾斜被害が多く発生した。

ただ悔やまれるのは、2地域とも地震計が十分設置されていなかった点だ。そのため、地盤に作用した地震波がどのようなものかはわからない。

「そのデータがあれば、ゾーニングの精度をもっと上げられたはずです」と清田さんは残念がる。膨大な計測データは、2次利用しやすいようにウェブ上でも公開予定で、そのうち一部のデータは公開済みだ。「執筆中の論文が公開されれば、アクセス数が増え、今後の地域防災に役立ててもらえることと期待しています」と清田さんは語る。

ギョルバシュでの液状化被害調査では、今後検討すべき課題も見つ

かった。通常、塑性指数の高いネバネバした粘土やシルトの多い地盤は液状化しにくい。しかし、そうした地盤でも液状化が起こり、液状化の抵抗性が必ずしも高くないことが現場採取試料を用いた室内試験で裏づけられたのである。「日本の基準では液状化のリスクを想定しなくていい地盤です。基準見直しの可能性もあるため、そこでなぜ液状化が起きたのか、今後明らかにしていきたいです」。清田さんは次の段階に胸を躍らせる。