

阪神・淡路大震災における都市基盤施設被害
の地盤工学的研究

神戸大学工学部教授

高田 至郎

1. 研究の背景と目的

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、神戸市をはじめ阪神間の諸都市、淡路島では未曾有の被害を受けた。今回の被害分布を正確に把握し、それをもとに被害原因を究明することは、今後、都市直下で発生するかも知れない地震による被害を少なくするうえで重要な課題である。

神戸大学工学部建設学科土木系教室では上述した目的を達成するため、まず被災状況を正確に把握することに重点を置き、地震直後に3次にわたる調査を実施した。その後、各研究者はそれぞれの専門分野で引き続き調査を実施するとともに、その原因の究明をも試み、いくつかの成果を発表してきた。本研究では都市の基盤を構成する地盤に関係した土木系教官の有志が研究組織を編成し、それぞれの専門分野で得られた都市基盤施設に関する被災情報ならびに地盤情報を総合化することにより、被災原因を地盤条件から明らかにし、都市の耐震性を地盤構造条件から評価しようとするものである。とくに本研究はGIS（地理情報システム）を活用して、阪神・淡路大震災における各種施設の被災メカニズムを地質、地盤構造、地形分類などの地盤条件の視点から解明し、都市地盤の耐震信頼性を明らかにしようとするものである。

被災施設としては家屋・建築物、ライフライン、港湾施設などを対象とする。また、都市地盤条件としては地質、地質構造に加えて、新たに作成し直した地形分類、収集が進行しつつあるボーリング等をGISに入力し、施設被害とオーバーレイすることにより、その被災原因を地盤条件から明らかにする。

2. 研究方法

本研究は以下の3項目に分類される。

- (1) 被災家屋分布図から被害状況を定量的に表現する手法を提案し、これを用いた新たな被災分布図を作成した。次に兵庫県南部地震による家屋構造物の被害と地形分類との関係に着目し、その特性分析をGISを用いて実施した。
- (2) GISを用いて、神戸市域における水道配水管路とガス管路の被災状況（被災位置、被災管材・継手、被災モード）をデータベース化した。次に、地質図・地形図とライフライン被災データをオーバーレイすることにより、ライフライン被災と地盤条件

との関連性を明らかにした。

- (3) 兵庫県南部地震後における港湾関連事業管理者の調査した護岸・港湾施設・地盤などのデータを収集し、鳴尾浜からポートアイランドにおける被災分布図を作成した。その結果より、施設被害と地盤条件の関連性などについて考察を加えた。

3. 研究内容

上記の研究項目に対応して、研究内容は以下のように要約される。

- (1) 家屋被害特性分析については、被災調査結果を縮尺 1/2,500 の国土基本図並びに国土地理院発行の縮尺 1/10,000 の地形図に整理するとともに、GIS に入力した。また、地形分類図として建設省国土地理院により試験的に作成された「地震防災土地条件図（縮尺 1/10,000）」を用いた。本地震防災土地条件図には地形分類の他、崩壊地・災害現況が記されている。本研究では、この地形分類図を GIS にベクター入力した。研究対象領域としては神戸市灘区六甲周辺を選定し、全壊率（全壊建物数／全建物数）、被災率（（全壊＋半壊＋一部損壊）／全建物数）、等価被災率（（全壊＋0.5・半壊＋0.25・一部損壊）／全建物数）の3つの被災パラメーターに対して地形分類との関連について定量的に分析を行った。
- (2) ライフライン被災分析については管路被災データベースと地盤・地形データベースを重ね合わせることによって管種別、口径別、敷設年代別、地質・地形分類別の配水管およびガス管の被災率を求めた。さらに、別途 GIS に入力されている地震動データベースを利用することによって地震動強さ（速度）による管路被災率の変化を検討した。
また、地盤軟弱地域とともに既存活断層近傍でも管路被害が集中したことにより、断層位置からの管路被災特性の変化や地形傾斜度と管路被災率についてもデータ分析と解析的手法により検討を加えた。
- (3) 護岸・港湾施設被害の状況を臨海埋立地を主な対象として、運輸省第三港湾局・兵庫県土木局港湾課・兵庫県企業庁開発課・神戸市港湾整備局・東洋建設より収集を行った。護岸の沈下量・水平移動量を主体に被害の評価を行っている。
一方、地盤情報としては、既存の地盤情報データベース、調査報告書を主体とし、地盤工学会関西支部「海底地盤-大阪湾を例として」、同支部「関西地盤」、兵庫県「阪神地域活断層調査委員会報告書」、神戸市「神戸地盤調査研究委員会資料」など

である。これらをもとに被災と地盤特性の相互関係を検討した。

4.研究結果および考察

- (1) 等価被災パラメータを用いて地形分類との関連について検討した結果、扇状地－2（最終氷期前半（6～4万年前頃）に、寒冷的な気候環境下において山地内の土砂生産の多さを反映して形成されたと考えられる扇状地）はその地形単位内すべてが等価被災率30%以下と被害が小さかった場所であったことがわかった。一方、扇状地－4（晩氷期（1.5～0.6万年前頃）の、気候が寒冷から温暖に向かう時期、降水量が次第に増加したため、上流側のより古い扇状地を侵食した土砂の再堆積として、その下流側に形成された扇状地）は等価被災率50%以上の被害が大きかった場所が約7割も占めており大きな被害が出現した地形単位であった。扇状地－5（後氷期（0.6万年前頃）以降、気候が温暖化し、降水量の増える時期に扇状地3と同様に、上流側のより古い扇状地を侵食して、その下流側に形成された扇状地）では、等価被災率50%以上の場所は扇状地－4ほど多くを占めてはいないが、等価被災率30%以下の被害が小さかった場所が1割にも満たないほど少なく、大きな被害が現れたことが知られた。
- (2) 兵庫県南部地震における配水管被害データベースを作成し、配水管被害と各地盤被害の関連について考察を行った。その結果、神戸市などの強震度域におけるデータのみでは、加速度などの地震動強度と配水管被害を関連づけることは難しく、被害の出現においてローカルな地盤特性が非常に大きく影響していることが示された。とくに、地質・地形分類における配水管被害との関連においては、大阪層群や比較的古い時代の扇状地において継手被害が多発しており、沖積地盤においては属具被害が多く生じていることなどが知られた。埋立地においては、液状化の影響を受けたと考えられ、継手被害が70%に至った。また、傾斜地盤との関連においては、20%程度の傾斜地の変化部において被害が集中することが確認された。さらに、断層との関連についても考察し、断層からの距離が、700m～1000mの“震災の帯”と呼ばれる地域において、配水管被害率が上昇することなどが確認された。これまでの考察の結果、神戸市の市街地域における全体的な被害像をつかむことができたものと考えられる。さらに断層の周辺における埋設管の被害について詳細な分析を行うとともに、傾斜部における被害メカニズムを解析により明らかにした。断層周辺では、既存断層の食い違い面による焦点効果の影響、複雑な地質・地形

分類による多種地盤の混在による影響、傾斜地盤による影響などによって被害が集中する現象が確認された。また、傾斜部の下部側の緩い傾斜部において、配水管継手被害、管体被害が集中することなどが確認された。

- (3) 神戸ポートアイランド及び、六甲アイランドの護岸沈下及び変位量については、護岸の水平移動量は両島で非常に大きく、最大値は5mに達するものがある。沈下量に関しては、約1~2mの値が得られている。両島の護岸構造は、いずれも置換砂上の重力式ケーソンである。また、神戸東部埋立地から鳴尾浜までの護岸変位を整理した結果、一般的に水平移動量の方が沈下量より多く、神戸ポートアイランドと六甲アイランドと同様な傾向となっている。また、計測精度の信頼性が高いと考えられる沈下量の地域変化に着目すると、神戸市東部4工区~芦屋浜埋立地で最大値を示しているようで、それより東の地域では沈下量も少なくなっており、また、調査地点東端の鳴尾浜での護岸被害は急激に減少し、軽微な被害となっている。

このように、定量的な被害分布が阪神東部地域で減少することは震源距離との関係で説明できると思われるが、このほかに地盤条件と護岸構造の違いを考慮すべきであろう。埋立地での被害が鳴尾浜を境に消滅するが、海底地盤と異なり河口堆積物が厚い大阪の淀川では大規模な被害が得られているのは、地盤条件の違いである。臨海部の地盤条件に関しては、一般的に大阪湾の海底には軟弱な沖積粘土層が厚く堆積していることが知られている。護岸構造物は沖積粘土を掘削後に置換砂を投入した支持層の上に構築されているが、地震時には沖積粘土と置換砂が一体となって護岸構造物の変形量に影響すると考えられる。

5.残された問題、今後の課題

- (1) N値や粒度、密度、地下水位等の地盤条件の反映として地形単位が出現するものとして地形分類を行ったが、家屋・建物被害の大小は地形単位で説明できるが、被害の大小の遷移は地形単位では説明できず、別の要因を検討する必要がある。
- (2) 今回は神戸市全域を対象として、ライフライン被害と地質・地形の関連性について考察を加えたが、さらにミクロな地域を対象として詳細な分析を実施する必要がある。また、水道・ガス以外のライフラインについても同様な分析を行って相互の被災関連性についても考察を進めることが必要である。
- (3) 沖積粘土層の土性は、大阪・神戸間で変化しており、粘土の高圧

縮性を示す液性限界は大阪～芦屋地域で大きく、神戸では低くなることが知られている。このような、沖積粘土の強度・圧縮性が護岸構造物の地震時挙動にどのように影響を及ぼすかについては、今後、海底地盤の動的力学特性を把握し、動的解析などを実施して、地震時の護岸変動の予測法を確立していく必要があると考えられる。