

審査の結果の要旨

論文提出者氏名                      テオドリ    スベン    ピーター

1999年8月17日のトルコ・コジャエリ，9月21日の台湾・集集と連続した巨大地震は，その希有な規模の断層変位と断層上の構造物被害の甚大さという点で，多くの深刻な課題を投げかけた．わが国では陸域だけでも2000を越える活断層の存在が確認されていて，およそ10年に1回の頻度でいずれかが地上に現れる．しかし地震断層による地盤変状そのものについては，現行の耐震設計でほとんど考慮されていない．この背景には，過去の地震断層の発生時刻や場所が幸いし，人命に関わる深刻な事態が生じなかった幸運がある．しかし，道路，鉄道および電力・水道などの社会基盤施設は，戦後の経済成長のボトルネックにならないようにこの狭隘な国土に急激にかつ高密度に整備され（運輸政策審議会答申20号），都市環境の激変があったことを忘れてはならない．第1章、第2章ではこうした論文の背景と本研究の目的、そして断層被害の様々な事例を残した1999年台湾集集地震の概要についてまとめている。

第3章は台湾集集地震で被害を受けた高速道路3号線の実例とその調査結果をまとめている。この高速道路は包尾山 (Bauweishan) を含む4箇所断層を横切っている。この内、包尾山では当時建設中であった本線及び取付道路高架橋を支える基礎杭数百本が，断層近傍で大きく移動，変形し，現在もそのまま地中に残されたままになっている．これらを地盤内に置かれた”ひずみゲージ”と見立て，現地での地盤のボーリング調査，及び杭のコンクリート部分のコアリングによるひび割れ分布調査を元に地盤変形の実態を抽出することを試みている．この中で、杭基礎上部に橋脚が建設されていたものと、まだ建設されていなかったもので地中の杭の亀裂の発生パターンに明瞭な差が現れていることを指摘している。この地震で収録された断層直近の地震動記録を見ると、最初に大きな加速度が現れ、しばらくたって大きな変形が追随する様子が示されている。最初の大きな加速度は杭が支えている橋脚（上部構造物）を強く揺るので、まず橋脚の下端、あるいは杭基礎上端に亀裂が発生し、塑性ヒンジが形成された後で、大きな地盤変形を受けることになるのである。この事実は断層近傍の橋梁などを設計するに当たって入力シーケンスを考えなければいけないことを指摘するものであり、本章で核心となる成果である。

大きな加速度に続く地盤変形に対応して杭基礎をどの程度断層から離して設置しなければならないかは、地盤の変形を判断する合理的な基準が必要になる。このため、堅固な基盤の上に一様な軟弱層が堆積している状況での地盤変形の

記述について、後続の 4 章、5 章で検討がなされている。

第 4 章では、まず先行する実験的、解析的研究の概要を紹介し、これらの研究で得られた知見と課題をまとめている。そして第 5 章では、基盤に加えられた断層のずれ  $D$  が厚さ  $H$  の堆積層を貫き地表に到達し、構造物の機能に障害を生じさせる状態での平均歪 ( $\gamma = D/H$ ) を限界歪  $\gamma_{critical}$  と定め、この限界歪を限定された支配的なパラメータの関数として示す試みを行っている。この中で、まず簡易な概念モデルで支配パラメータを堆積層の内部摩擦角  $\phi$ 、断層破壊面の伏角  $\alpha$ 、堆積層厚  $H$ 、堆積層の密度  $\rho$ 、弾性係数  $E$  の関数として表現した上で、精緻な有限要素モデルの数値計算結果から、この  $\gamma_{critical}$  の定量的な表現方法についての検討を加えているとともに、平均歪 ( $\gamma = D/H$ ) と限界歪  $\gamma_{critical}$  の比、 $\gamma/\gamma_{critical}$  が与えられれば、実用的かつ合理的に地盤の変形パターンを記述できる可能性を示している。

第 6 章ではいくつかの  $\gamma/\gamma_{critical}$  を設定し断層近傍にある杭基礎の地盤変形による変形を解析している。そして  $\gamma/\gamma_{critical}$  の値に関わらず、断層からある距離  $L$  以上離れた場所では杭がほとんど変形を受けないゾーンが存在することを示している。

この結果を踏まえ第 7 章では杭が大きな地盤変形を受けない安全な距離  $L$  について検討している。ここで得られた知見は以下のとおりである。まず(1)基盤断層面から表層の堆積層に破壊が進行する時の角度は基盤破壊面の伏角  $\alpha$  が  $\pi/4 - \phi/2$  より小さい場合、 $\pi/4 - \phi/2$  にほぼ等しく、一方で  $\alpha$  が  $\pi/4 - \phi/2$  より大きい場合ほぼ  $\alpha$  に等しくなる、さらに(2)堆積層内の破壊面が地表と交わる角度は、過去の研究例が示す結果を裏付けるようにほぼ  $\pi/4 - \psi/2$  に等しくなる。ここで  $\psi$  は堆積層のダイラタンシー角である。(3)堆積層を伝播してきた破壊面が基盤破壊面上端から  $W$  だけ水平に移動した地表に現れるものとした時に、この  $W$  は上記のパラメータと表層厚から推定できること、また(4)杭が大きな地盤変形を受けない安全な距離  $L$  を表層厚さで割った無次元量  $L/H$  は  $W/H$  の関数として表現できる。

第 8 章は本研究で得られた知見を整理し、今後の実験手法の発展の方向と課題をまとめている。

以上、本研究は、堆積層の平均歪の程度  $\gamma/\gamma_{critical}$  などを指標として地震断層近傍地盤の変形パターンを合理的に記述しえることを示した上で、断層近傍に建設せざるを得ない社会基盤施設の基礎構造物の設置位置や形式について、これらに鋭敏なパラメータを抽出し、合理的な検討を行うことを可能にしたものであり、有用性に富む独創的な研究成果と評価できる。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。