

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 宮川 義範

地震災害に遭遇した施設の早期復旧／共用／運転開始は、都市を構成する既存構造物のインフラマネジメントにおける喫緊の課題である。早期復旧にむけた対策の第一歩は、被災直後のインフラ施設の残存性能の判定から始まる。陸上構造物では、被災直後の目視検査に基づき、残存耐震性を判断することが可能である。しかし、地下空間を維持するトンネルや水路、洞道、地下街などの場合、地下構造自体が地盤によって囲まれていることから、地震直後に構造体に発生するコンクリートのひび割れや鋼材の塑性変形、座屈などを目視で確認することが困難である。内空間が維持されている場合には、空間内部に面している構造表面に対して接触および非接触検査が可能となるが、耐震性能の判断において決定的な要素となる壁部材の斜めせん断ひび割れの有無を目視で確認することができない。そのため、過去の地震被害では早期復旧の判断に相当の時間を要する結果となった。

交通基盤やエネルギー施設は、都市機能の早期復旧の上で最も早く機能回復が求められる施設である。本論文は、地下に埋設された鉄筋コンクリート製地中構造物、特に電力施設を構成する地中構造物の内空形状の計測から、早期に残存耐震性を評価する方法を提示したものである。本論文は以下の章から構成されている。

第一章は序論であり、本研究の目的を明示している。変位に基づく鉄筋コンクリート柱部材の残存耐震性能の判定技術を概括し、壁部材で構成される地下構造物への適用にあたっての問題点を抽出するとともに、技術開発上の要点を明らかにしている。建築物に用いられる柱部材と比較して、高度経済成長期に設計・施工された電力施設の地下構造壁部材の主鉄筋比は一般に小さく、せん断補強鉄筋が殆ど配置されていないこと、部材厚さが大きく、常時軸力は小さいこと、さらに既往の研究では最大耐力点の評価に主眼が置かれ、耐力以後のじん性評価は、対象から外れている場合が多いことに言及している。

第二章では、地震で励起される地盤のせん断変形によって損傷を受ける鉄筋コンクリート製地中海水管ダクトを想定し、頂部スラブの沈下と水平せん断変位との連動パターンから、軸力を支える壁部材のせん断ひび割れ発生に関連する終局限界状態を特定する方法を提案している。最大水平せん断変位と上下スラブ間の相対変位を用いて、被災直後であっても安定して機能が保持される状態、余震によって崩壊の危険性が高い状態、補修によって機能回復が可能となる状態を明確に判定する方法を与えている。

第三章では、地下構造物を構成する柱部材を対象とし、柱軸と直交する方向の平均残留ひずみから、軸力保持に関する限界状態の判定方法を提案している。地下構造物の代表的な緒元を基に、系統的な静的交番載荷実験を実施し、限界状態判定法の適用性と精度の検証を行っている。非線形応答解析による検討とあわせて、早期性能判定に耐え得る評価式を与えている。

電力基盤施設の中で大型機器等を支持する部位では、壁部材を三次元的に配置して高い剛性と耐力を付与する設計が用いられるケースが多い。ここでは、巨大地震作用下においては、面的拡がりのある壁部材に面内と面外の両方向にせん断力が作用する。第四章では、壁部材の面内せん断方向の変位計測から、面内せん断破壊に対する余裕度を判定する方法を開発した。基部に発生するせん断圧縮破壊の連鎖によって、面内耐力が劣化することを実験と解析から定量化し、常時軸力と壁の形状寸法から面内せん断耐力残留率を算定する方法を与えている。

第五章では、第二章～第四章の成果をもとにして、面部材で構成される鉄筋コンクリート構造物全体系の健全度判定システムについて取りまとめている。システムの適用性を検証するために、地下に埋設される電力施設である取水ピット、具体的には漸拡部、スクリーン室、ポンプ室構造の十分の一模型をそれぞれ建設し、これに実験室内にて交番作用を与えて耐震性能を確認した。あわせて三次元非線形応答解析を実施し、提案された残存耐震性能の判定システムの適合性と精度を、応答変位を基にして検証している。

第六章では、砂地盤に埋設された鉄筋コンクリート壁構造の振動台による動的応答実験を実施するとともに、第五章と同様の検証を行った結果、最大耐力に相当する終局限界状態を正確に予測・評価できることを示すとともに、構造システム全体の耐力残留率は構成部材の損傷指標に基づき、安全側に評価できることを実証している。

第七章は本研究の結論を取りまとめたものであり、変位情報のみに基づく残存耐震性能評価法を、早期復旧に適用するための具体的な作業フローを提示している。今後、インフラ施設の点検・検査システムとのデータ統合による、地中に埋設されている電力施設の地震直後の総合的な健全性判定システムへアップグレードすることの重要性について指摘している。

これまで、非破壊および微破壊検査による軸力部材のせん断ひび割れの有無の判定には、数週間を要していた。そのため、地下構造物に関する供用・運転開始の可否を社会に対して説明することに多大な時間を要していた。本研究の成果は対象範囲を限定した上で、既存地下構造物の地震被害後の限られた非破壊検査情報のみから地震直後の供用開始の可否、および補修の可否を短時間に判定する実用的な方法を提示したものであり、急速復旧のマネジメントに貢献するものと評価される。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。