早稲田大学大学院理工学研究科 学生員 市橋 正行早稲田大学理工学部 フェロー 清宮 理

1.はじめに トルコ・コジャエリ地震および台湾集々地震等、大規模な地震時に大きな断層変位が観測され、 断層を横切る構造物に重大な被害を生じさせた。これは地震動による揺れだけでなく、静的な断層変位が被害 の原因と考えられる。これまでの構造物の耐震性の検討は地震による揺れ、すなわち地震動を外力としてきた が、静的な断層変位に対する耐震性の検討の必要性も指摘されるようになった。特に、沈埋トンネルを代表と する線状構造物はその形状から断層を横切る場合が多い。勿論、断層を回避して建設するのが基本であるが、 断層は長いもので数十キロ超となるため、そこに交通需要があれば建設を余儀なくされるのが現状である。

本研究では、有限要素法により表層地盤をモデル化し、沈埋トンネルを梁と仮定して、断層変位を強制変位 として基盤面に与え、沈埋トンネルの断面力について材料非線形性を考慮した静的有限要素法により計算し安 全性を評価したのでこの結果について報告する。

<u>2.断層変位の計算例</u>図 1 に沈埋トンネルと断層の状況を示す。断層は縦ずれ断層と横ずれ断層を想定した。最も大きい縦ずれ断層の上下変位を対象とした地震は 1944 年東南海地震で、長さ L=120km,幅 W=80km、 食い違い量 U = 310cm、傾き = 10°の断層面を想定し、この断層での各パラメーターを基に計算された地表 面の最大変位は 54cm であった。同じく横ずれ断層の水平変位を対象とした地震は 1927 年丹後地震で、L=30km、 W=15km、U = 300cm、 = 90°の断層面を想定、最大変位は 276cm であった。



図 - 1 地震前後の縦ずれ断層

<u>3.解析モデル</u>沈埋トンネルの長さは 800mとし、中央に 断層が存在すると仮定する。沈埋トンネルは節点数 161、要 素数 160 の梁要素で置換した。沈埋トンネルの断面図を図 -2 に示す。構造形式は、鋼・コンクリートフルサンドイッチ 構造で、一函の全長 100m、幅 35.0m、高さ 8.6m である。コ ンクリートの弾性係数 2.8×10⁷kN/m²、鋼材の弾性係数 2.1 ×10⁸kN/m² とした。沈埋トンネル函体の耐力は、鉛直面内 において、降伏せん断力 166470 k N、終局せん断力 817440kN、ひび割れ曲げモーメント 864940kN・m、降伏曲 げモーメント 3502270kN・m、終局曲げモーメント 5482850kN・m である。表層地盤は、表層地盤厚 30m、変形 係数 2.0×10⁴ k N/m²、降伏応力 252kN/m²とした。断層位置



図 - 2 標準横断面図



図 - 3 解析モデル図

キーワード:沈埋トンネル,断層,材料非線形性,有限要素法,強制変位 連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51 号館 16 F - 01 TEL & FAX.03-5286-3852



図 - 8 変位分布図

に比較的軟弱な層(以下、断層面)をいれ、断層面の変形 係数を 6.0×10^3 kN/m² ~ 12.0×10^3 kN/m² に変化させた。

以上のような条件で、断層面を挟んで基盤面の一方を 固定、もう一方を鉛直方向に降伏耐力を超えるまで強制 変位を段階的に与えた。図-3に解析モデル図を示す。 <u>4.解析結果</u>図-4に断層面幅を変数として、断層面 変形係数6.0×10³ k N/m² における最大せん断力図、図-5に最大曲げモーメント図を示す。図-6、図-7、図 -8に降伏時のせん断力分布図、曲げモーメント分布図、 変位分布図をそれぞれ示す。図-9に断層面変形係数と 降伏状態における強制変位量の関係図を示す。図-10 に表層地盤のトンネル軸方向変位分布断面図を示す。

<u>5.結論</u>図-4、図-5より、断層面幅 5.0m、断層面



図 - 9 断層面変形係数の関係図



図 - 10 表層地盤変位分布断面図

変形係数 6.0×10³kN/m²と設定したとき、強制変位 2.1m 程度の時、鋼板の降伏がおこることがわかる。せん 断破壊先行である。図 - 6、図 - 7により、最大せん断力は断層位置に計算され、最大曲げモーメントは断層 位置より 30m 程度の位置に発生することがわかる。図 - 9より、断層面変形係数の増加に伴って、許容強制 変位量は減少することがわかる。今後、断層面をばね要素でモデル化し、より大きい断層変位に対しても有限 要素法により解析できるよう工夫する予定である。

<u>6</u>.参考文献 (1)佐藤 良輔;日本の地震断層パラメーター・ハンドブック, 鹿島出版会, 1989年 (2)東 宏城,清宮 理;断層を横切る海底パイプラインの安全性評価,第2回構造物の破壊過程解明に基づ く防災性向上に関するシンポジウム, pp.147~152,2001,3