

分岐・合流する地中構造物の三次元挙動 解明に関する基礎的検討

大保 直人1・市村 強2・山田 岳峰3・伊丹 洋人4・堀 宗朗5

 ¹鹿島建設技術研究所上席研究員 都市防災・風環境グループ(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1) E-mail:ohbo@kajima.com
 ²東京工業大学准教授 大学院理工学研究科(〒152-0033東京都目黒区大岡山2-12-1) E-mail: ichimura@cv.titech.ac.jp
 ³鹿島建設技術研究所上席研究員 土質・地盤環境グループ(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1) E-mail: takemine@kajima.com
 ⁴鹿島建設技術研究所研究員 土質・地盤環境グループ(〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1) E-mail: itamihi@kajima.com
 ⁵東京大学教授 地震研究所(〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1) E-mail: hori@eri.u-tokyo.ac.jp

首都圏の地下には、鉄道・道路、上下水道、共同溝等数多くの地中構造物が存在している。最近の研究 では、地上構造物の直下に新設される地中構造物が地震時に地上構造物、および既設地中構造物に与える 影響について二次元モデルを用いた検討が進められている。交通網の整備に伴い、大深度で複雑に分岐・ 合流する構造の建設が計画され、大地震時の挙動解明の重要性が指摘されている。これら構造物の地震時 の挙動を解明するためには、二次元モデルを用いた検討では、地震時の影響を正確に捉えることが困難で ある。本文では、矩形断面を有する地中構造物が分岐・合流する仮想モデルを作成し、地震時における三 次元挙動解明を目的とした大規模三次元解析を実施し、入力地震動の方向と構造物の相対的な位置関係で 応答が大きく異なることが分かった。

Key Words : Undergorund Infrastructure, 3D-Analysis, Dynamic FEM Analysis

1. はじめに

首都圏の地下には、鉄道・道路を始めとして、上・下 水道、ガス、電気、共同溝等の地中構造物が存在してい る。近年、首都圏の道路・鉄道網は、平成13年4月より 施工されている「大深度地下の公共的使用に関する特別 措置法」以後、大深度地下への建設が数多く計画され、 地下で分岐・合流する特殊な構造が増える等、その部位 の耐震安全性評価が必要となっている。

首都圏では、図-1に示したように構造部が地上・地下 に数多く存在している。しかし、既設構造物の規模(大 きさ)や形状・剛性の影響評価、近接構造物同士の離隔 の影響評価等十分に解明されていない。

土木学会地震工学委員会地下構造物小委員会では、地 上構造物-トンネル系、橋脚-トンネル系、トンネル-トンネル系等、地上構造物に与える新設構造物を含む地 盤の影響評価,既設構造物に対する新設構造物の規模 (大きさ)や形状・剛性の影響評価,近接構造物同士の 離隔の影響評価を報告している。これらの評価結果は, 近接構造物の挙動を地震動の作用下で定量的に検討し, 構造物の新設による地盤震動特性の変化や,動的な荷重 作用下における新設構造物の影響範囲および対策法の必 要性等についての有用な知見を与えている¹⁾。また、大 断面トンネルが地盤及び地上構造物に与える影響²⁾、さ らに新設地下構造物が既設構造物に与える影響評価³等 が検討されている。しかし、これら検討は二次元的な影 響評価であり、複雑に変化した構造物への影響を評価す るためには、三次元的な評価が必要性である。

著者等は、分岐・合流する地中構造物、立坑とトンネ ルが接合する地中構造物の動的挙動の解明を目的として、 観測・実験・解析を実施してきた^{4〜6}。首都圏の地下に は、鉄道・道路等重要な交通網が構築・計画され、2つ の路線が合流する地下鉄の駅部や、道路・鉄道が上下に 交差する等の構造が存在している。 本文では、交差・分岐・合流する地中構造物の地震時 の三次元挙動解明を目的として、分岐・交差・合流する 矩形断面を有する地中構造物モデルを用いた大規模三次 元解析実施し、得られた三次元挙動について紹介する。



図-1 近接構造物の構築概念 (文献 2)を加筆・修正)

2. 解析モデルの概要

大深度地下の利用が可能となった現在、首都圏に構築 される道路・鉄道網は、上下・水平の分岐・合流・交差 する構造を持った建設計画が多くなっている。ここでは、 上下・水平に交差する地中構造物の地震時挙動の解明を 目的として矩形断面の地中構造物が分岐・合流・交差す る図-2に示す解析モデルを作成した。

地盤モデルの大きさは、広さ500m×500m、厚さ32mとした。この地盤内に、箱型断面(10m×6m)の地中構造物が、地表から3mと11mに構築され、水平隔離2m(断面③)、鉛直隔離2m(断面②、構造物AとC交差部)として合流する構造と交差する構造のモデルを作成した。

有限要素領域は、四面体一次要素とボクセル要素より 離散化しており、解析メッシュの大きさは、地盤は3.0m、 構造物は2.0m、ボクセル部は4.0mとした。1波長あたり 10要素あればその周波数の精度が保証できるとすると⁷、 この解析モデルの保証精度は1.7Hzである。その結果、 解析モデル全体で、節点数が249,271、要素数が1,348,979 となった。

材料は線形弾性体を仮定し、解析に用いた地盤・構造 物モデルの物性値を表-1に示す。境界条件として、側面 には半無限吸収境界を適用し、地盤の半無限性を確保し た。なお、地中構造物の地震時応答性状を解明するため に、表層地盤で地盤応答が大きくなるように表層地盤の せん断波速度の極めて小さな値を設定している。

このモデルに、地盤の1次固有周期付近である0.5Hzを 中心周波数とするRicker波(サンプリング時間0.01sec、 データ個数3000、最大加速度100gal、図-3参照)を解析 モデルの底面にE+Fとして入力した。この入力波をX方 向(構造物Cに平行方向)とY方向(構造物Aに平行方 向)に入力して動的解析を行った。

3. 解析結果

図-4には、X方向入力(構造物Cに平行)で得られた 構造物の平面、構造物の上下交差部の変形状況、およ び地表の変位分布を示す。図-4(a)より地震動の入力方向 と同じ方向に構築された構造物Cの応答変位が大きくな



っている。また図-4(b)の構造物が上下に交差する部分の 変形を見ると、構造物Aの下を通過する構造物Cの変形 が大きくなっている。また、図-4(c)の地表面の最大変位 分布を見ると、地震動の入力方向に直行する構造物Aの 地表面での変位振幅が小さくなっている。

図-5には、Y方向(構造物Aに平行方向)入力の解析 で得られた構造物の平面、構造物CとAの交差部の変形、 および地表面の最大変位分布を示す。図-5(a)より地震動 入力方向に平行となっている構造物Aが大きな変位を示 し、最大振幅は約0.5mとなっている。図-5(b)の構造物C と構造物Aが交差する部分の変形を見ると、構造物Cの 上を通過する構造物の変位が大きくなっている。図-5(c) の地表面の最大変位分布は図-4と同様に入力地震動に対 して構造物が、平行或いは直角に位置しているかで変位 分布が異なっている。

以上の結果から、地震動の作用方向に平行に存在する 地中構造物の応答は、構造物の深度に関係なく大きな応 答を示すことが分かった。

図-6には、X方向入力時の構造物AとCの①、③断面の 同一方向の変位波形および構造物AとC交差部のX方向 の変位波形の重ね書きを示す。抽出した断面は図-2を参照されたい。上下に構造物が存在している①断面の変位 波形はほぼ同じ振幅を示している。③断面の構造物Cの 変位振幅が大きな値を示している。図-6(b)には、構造物 AとCが交差する地点の波形から、構造物Aより下を通 過している構造物Cの振幅が大きくなっている。

図-7には、Y方向入力時の構造物A、Cの①、③断面 と構造物AとCが上下に交差する断面のY方向の変位波 形の重ね書きを示す。図-7(a)から、入力方向と平行とな っている構造物Aの振幅が大きい。構造物交差部では同 様に構造物Aが大きな変位を示している。

4. あとがき

本文では、矩形断面を有する地中構造物が分岐・合 流・交差する地中構造物の解析モデルを作成し、大規模 三次元解析を実施した。得られた結果をまとめると

 地震の入力方向に平行な地中構造物は応答が大 きくなる。







 変位(m)

 0.58

 0.00

 (c) 地表面の変位分布

- ② 構造物が交差する部分では、作用する地震動の 方向でその応答が異なる。
- ③ 構造物が水平・上下に合流する部分では、相互 作用の影響の評価が必要である。

となった。

ここでは、三次元挙動を明らかにするために単純な地 震動を作用させた解析を実施し、基本的な挙動を明らか にした。今後、実構造物を対象とした三次元挙動の解明、 実地震波を使った解析を実施し構造物に発生する応力状 態の解明等、さらに詳細な分析を実施する予定である。

謝辞:本検討を実施するにあたり、東京地下鉄株式会社 建設部長の入江健二氏に有益なご意見をいただき、心よ り感謝の意を表します。

参考文献

- 土木学会地震工学委員会:「地下構造物の合理的な地震対 策研究小委員会」活動成果報告書,2006.
- 2) 有賀義明: 地盤及び地上構造物の地震時応答に及ぼす大断面トンネルの影響,地下構造物の合理的な耐震対策に関するシンポジウム論文集,2006.

- 3) 小林孝行, 岩楯嵩広, 武菱邦夫, 宇都宮博幸, 篠崎哲也: 新設 地下構造物の地震時応答が既設地下構造物に及ぼす影響 評価, 地下構造物の合理的な耐震対策に関するシンポジウ ム論文集, 2006.
- Naoto Ohbo, Kiyomi Horikoshi, Takemine Yamada, kazuhiro Tachibana, Hiroshi Akiba: Dynamic Behavior of a Underground Motorway Junction due to Large Earthquake, 13th World Conference on Earthquake Engineering, August 2004.
- 5) 山田岳峰,市村強,大保直人,佐茂隆洋,池田清宏,堀宗朗:大規 模三次元FEM解析による地下複雑構造物の地震時挙動, 応用力学論文集, Vol.7, pp.909-916, 2004.
- 山田岳峰,市村強,大保直人,佐茂隆洋,池田清宏,堀宗朗:トン ネルランプ構造部の地震応答特性と耐震対策工,構造工 学論文集, Vol.51A, pp.561-568, 2005.
- Bao, H., Bielak, J., Ghattas, O., Kallivokas, L. F., O'hallaron, D. R., Shewchuk, J. R., and Xu, J.: Large-scale Simulation of Elastic Wave Propagation in Heterogeneous Media on Parallel, *Computers, Comput. Meth. Appl. Mech. Eng.* 152, pp.85-102, 1998.

(2007.06.29 受付)





UNDERGROUND STRUCTURES WITH JOINTED AND DIVERGED PARTS

As the number and size of underground infrastructures increase, the structure configuration tends to be more complicated, and a rational analysis method would be needed to evaluate their seismic safety; analyzing interaction effects among neighboring parts of the infrastructure is of primary importance. This reports presents a preliminary study on analyzing the interaction effects of jointed and diverged parts for a large-scale underground structure. A 3-dimensional seismic response is computed by means of an advanced finite element method, and it is shown that the seismic responses change drastically depending on the direction of strong ground motion input to the structure.