

VI-92

近接交差する水路トンネル掘削による鉄道トンネルの影響解析

J R東日本 東北工事事務所 正会員 ○西澤 政晃
J R東日本 東北工事事務所 正会員 佐々木 弘
J R東日本 東北工事事務所 正会員 岩田 道敏

1. はじめに

青森県内において東北本線の複線断面トンネル直下を交差する水路トンネルが計画された。この水路トンネルは鉄道トンネルと角度約 60° 、鉛直離隔距離約1.8mで交差する計画であり、既設トンネルに極めて近接した施工となる。鉄道トンネルを通過する列車の安全を確保しながら水路トンネルの施工を行うため、2次元および3次元FEMを用いて鉄道トンネルへの影響解析を行った。本稿では、影響解析の結果について報告する。

2. 地質概要

当該トンネル交差部付近の地質は、主に石英安山岩・安山岩・流紋岩質凝灰岩の3種類より構成されている。一軸圧縮強度は安山岩が $800\sim 1200\text{kgf/cm}^2$ 、流紋岩質凝灰岩が $100\sim 400\text{kgf/cm}^2$ であり、静弾性係数は 10^5kgf/cm^2 オーダーとなっている。RQDは両岩種ともおおむね80%程度と良好な値を示している。

3. 解析概要

解析は、3次元有限要素解析『ADINA』による3次元線形掘削解析と、『NATMFEM』による2次元非線形解析を組み合わせる両トンネル覆工および周辺地山の安定解析を行った。図-1に解析手順を示す。

3-1. 3次元線形掘削解析

計画ではトンネルの交差角は約 60° であるが、解析では直交したモデルを仮定した（図-2）。また、地山の物性は安山岩で均一な地山を想定した。モデルの節点数は約4,400、要素数は約3,200となった。

解析の結果、水路トンネルが鉄道トンネルの手前4mまで進んだ段階まで鉄道トンネルの変位は殆ど生じていない。最終沈下量は脚部で1.22mm、天端で0.47mmと非常に小さな値となった。図-3に掘削ステップごとの鉄道トンネル沈下を示す。また応力度の変化は、水路トンネル切羽が鉄道トンネルを4m過ぎたところで引張 22.2kgf/cm^2 が発生し最大となった。

3-2. 2次元非線形解析

2次元非線形解析では、鉄道トンネル直角方向および軸方向を対象に行った2次元線形解析を基に、その解析条件・モデルを用いて解析を行った。解析モデルを図-4に示す。

3-2-1. 鉄道トンネル直角方向の解析

このモデルでは、地山は非線形要素、鉄道トンネル覆工コンクリートは線形要素とし、周辺地山に安山岩と凝灰岩の2種の岩種が分布していることによるトンネル周辺地山の変位と覆工応力に与える影響について検討を行った。

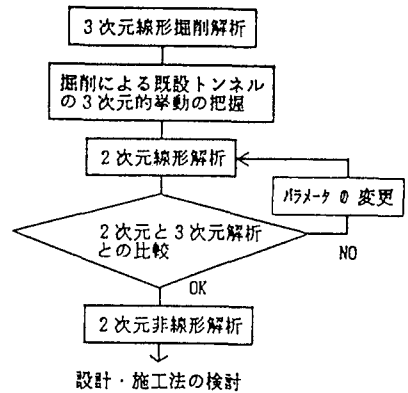


図-1 解析手順

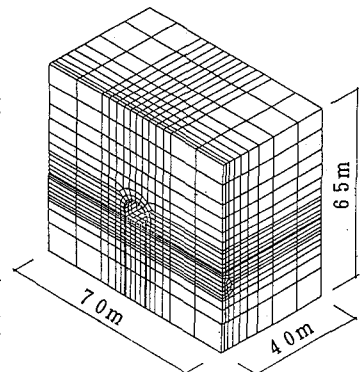


図-2 3次元解析モデル

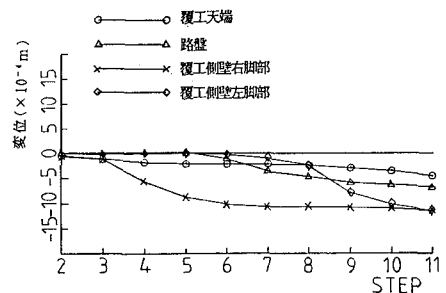


図-3 鉄道トンネルY方向変位

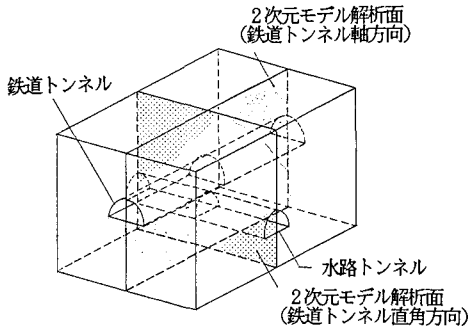


図-4 2次元解析モデル

解析の結果、安山岩部から凝灰岩部に切羽が進行するに従い水路トンネル天端沈下が最大で2.94mm発生し、これは安山岩部の2倍程度の値となった。これは地山の剛性の比率にほぼ相当している。また、鉄道トンネルの変位は右側壁下部で1.12mm、左側壁下部で1.44mmと左右非対称になった（図-5）。

鉄道トンネル覆工コンクリートの応力分布も左右非対称となった。応力は、凝灰岩側の左肩部が大きな値を示し $\sigma_1=14.5\text{kgf/cm}^2$ 、 $\sigma_2=0.4\text{kgf/cm}^2$ となり、右肩部の約2倍の値となった。この値は3次元解析の約1.6倍となっている（図-6）。

3-2-2. 鉄道トンネル軸方向の解析

鉄道トンネル軸方向の解析では、地山は非線形平面歪要素を、水路トンネルの吹付コンクリートおよび覆工コンクリートは線形ロッド要素と線形ビーム要素を用いた。さらに鉄道トンネル路盤面に列車荷重をかけ、施工時に工事桁を介した列車荷重の影響の検討および施工終了後における列車荷重の覆工コンクリートへの影響の検討を行った。列車荷重モデルを図-7に示す。解析は水路トンネル覆工状態を①素掘り、②吹付コンクリート、③覆工コンクリートの3モデルとした。

解析の結果、①では変位・応力とも3次元解析の結果と大きな差はなく、工事桁を介した列車荷重の影響も地圧が列車荷重に比して大きいため殆ど見られない。②では吹付コンクリートの応力は側壁下部の 13.3kgf/cm^2 が最大値となっている。また、列車荷重による応力の増加は 0.2kgf/cm^2 と非常に小さい。鉄道トンネル変位は側壁脚部で約 1.5mm となっている（図-8）。③では、水路トンネルの覆工コンクリートの応力は、最大値で側壁部に 1.20kgf/cm^2 となっている。鉄道トンネル変位は①、②とほぼ同じ値となっている。

4. まとめ

この解析の結果、水路トンネル掘削によって鉄道トンネルには影響の及ぶものの、水路トンネル施工における適切な掘削方法および補助工法の採用と、鉄道トンネルに対する事前補強により、鉄道トンネルに超近接交差する水路トンネルの施工が可能であることが判った。具体的な施工法・補助工法については、別稿において紹介する。

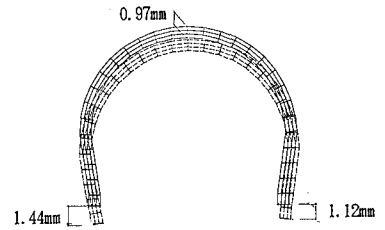


図-5 鉄道トンネル変位

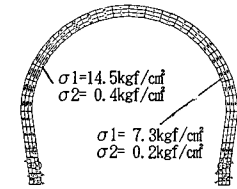
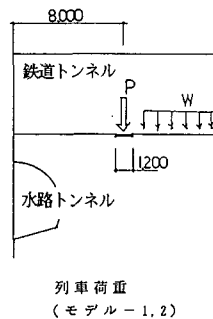
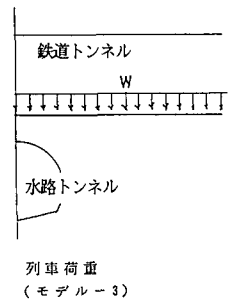


図-6 鉄道トンネル応力度



列車荷重
(モデル-1,2)



列車荷重
(モデル-3)

図-7 列車荷重概念図

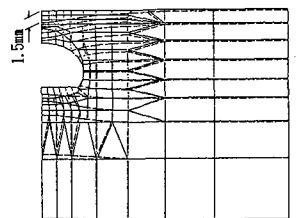


図-8 吹付コンクリート変位