

(54) 斜交トンネルが本線トンネルに与える影響

大成建設(株) ○伊藤文雄 竹田直樹 奥村勝美

1. はじめに

岩盤内に構築されるトンネル、地下発電所などの構造物は、その必要性からますます長大化、複雑化される傾向がある。これに伴い、様々な用途のトンネルどうしを交差させる場合も多く見られるようになってきた。しかし、このようなトンネル交差部(複数のトンネルが会合する際に生じる会合部およびその周辺を含めた領域)の力学的挙動は、不明確であり、交差部の計画、設計あるいは施工においては、種々の問題点が残されている。

交差部施工に伴う問題点は、新にはトンネルが掘削されることにより、一旦形成された地山および支保の変形構造が乱され、既設のトンネルが不安定な状態に推移すること、また交差部の構造上その変化が3次元的に生じることによって起るものである。特に、トンネル交差部は、2本のトンネルの断面の大きさ、その交差角度によって交差部の力学挙動は異なってくる。本報告では、このような交差部の問題点を明らかにするとともに設計、施工に際して留意すべき点について検討を加える。

2. 検討手法

交差部の基本的な力学挙動を明らかにするために、3次元モデルによる弾性有限要素解析を実施した。解析モデルは、図-1、2に示す。掘削されるトンネルの大きさを、本線トンネル、交差トンネル共に巾12m、高さ8.7m、初期地圧比 $\lambda = 1.0$ とし、トンネルの交差角度($\theta = 90^\circ$, $\theta = 70^\circ$)を変化させて2ケースについて解析を実施した。解析は、次の3ステップにより行なった。

- ① 初期応力状態の設定
- ② 本線トンネルの掘削
- ③ 交差トンネルの掘削

解析は、トンネル支保を考慮しない素地状態で行なっている。また、地山の弾性係数($E = 10000 \text{ kg/cm}^2$)、ポアソン比($\nu = 0.35$)、単位体積重量($\gamma = 2.5 \text{ t/m}^3$)、初期応力($\sigma_v = 250 \text{ kg/cm}^2$)と仮定した。

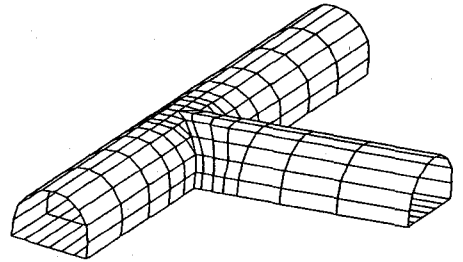


図-1 交差トンネルモデル図
($\theta = 70^\circ$ の斜交トンネルの場合)

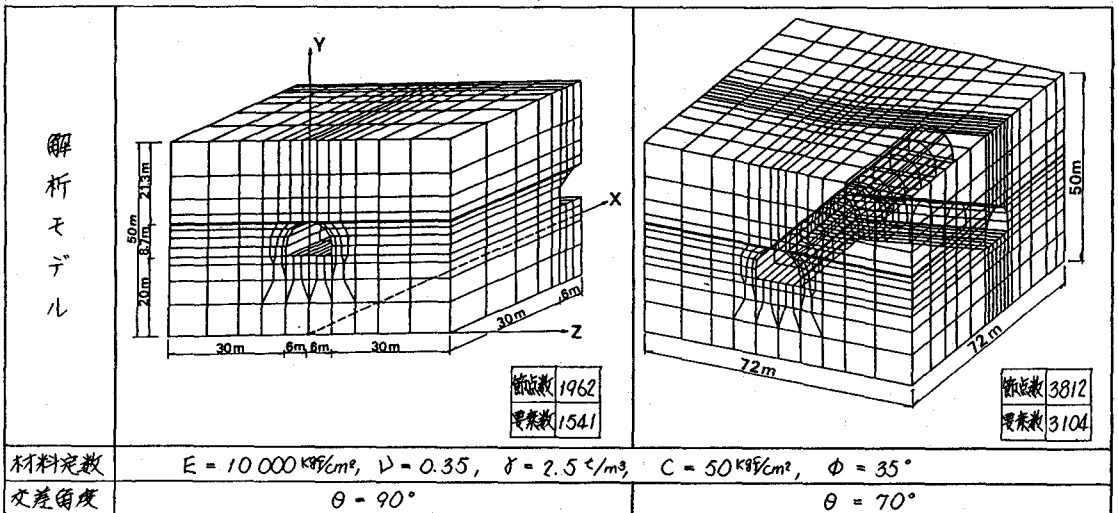


図-2 検討モデル

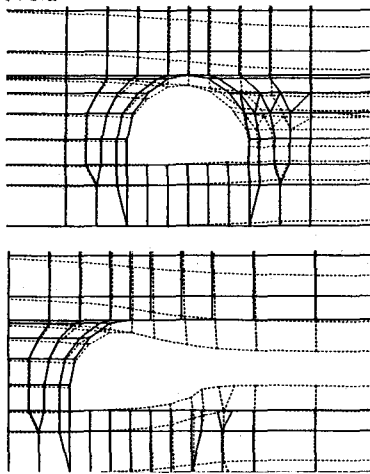
2. 交差部の力学的挙動について

解析により得られた変位と応力、安全率分布を基に、交差トンネル掘削時の地山挙動について検討を加える。

1) 変形挙動

図-3は、考察の対象となる断面の位置をX-Z平面上に示したものである。図-4は、交差トンネル周囲の変位分布を斜交トンネル(バクトル)と直交トンネル(図中点線)について比較したものである。変位は、鉛直方向成分が卓越しており、全体に交差トンネル側へせり出すモードとなっている。交差トンネル中心断面(D-D)では、本線トンネル天端沈下量が11.0cmに対して、水平変位量はわずかに交差トンネル側へ0.3cmとなっている。直交トンネルの場合、同じ交差トンネル中心断面では、天端沈下量は11.8cm、水平変位量は交差部側へ0.15cmを示しており、斜交トンネルに比べほぼ同じ沈下量を示している。

また、本線トンネルと斜交トンネルが会合する交差部の中心断面(B-B)では、本線トンネル天端沈下量が11.0cm、水平変位量は、交差部側へ0.5cmとなっている。さらに、中心断面(B-B)より+0.5D(D=12m)離れた断面(A-A)では、本線トンネル天端沈下量が9.9cm、水平変位量は、交差部側へ0.4cmを示しているのに対し、-0.5D離れた断面(C-C)では、本線トンネルの天端沈下量が8.6cm、水平変位量は、交差部と反対側へ0.1cmを示している。従って本線トンネル天端は、交差部掘削の影響により、図-3の+X方向に向って天端沈下は大きくなり、水平変位は、交差部反対側から交差部側へと変化する傾向を示している。これに対して、直交トンネルの場合では、交差部中央点に対して対称的な天端沈下である。水平変位については中央断面、端部断面共に交差部側へせり出す傾向を示している。以上の結果から、変形挙動は、斜交トンネル及び直交トンネル共にほぼ同じ傾向を示している。しかし交差部端部断面付近では、本線トンネル天端水平変位の方向が若干異なっている。



直交ケース $\lambda = 1.0$

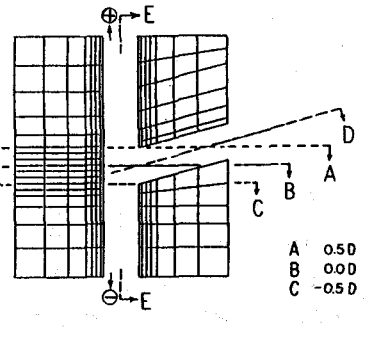
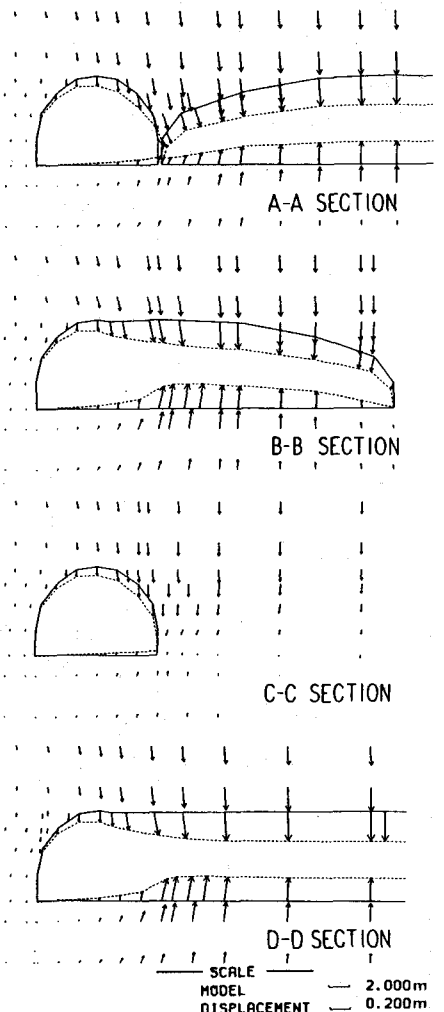


図-3 断面位置図(斜交ケース)



斜交ケース $\lambda = 1.0$

図-4 変位量分布図

2) 応力分布及び安全率分布

交差トンネル掘削後のトンネル周辺地山の主応力分布を斜交トンネルの場合について示したのが図-5である。

B-B断面は、交差トンネルと本線トンネルの会合部中心断面を、A-A断面は交差部より+0.5D離れた断面を、C-C断面は交差部より-0.5D離れた断面を示している。また、図-6においては、各断面内の局所安全率分布をDrucker-Pragerの破壊基準により調べたものである。

全体的には、本坑トンネル周辺にアーチ状の応力分布を示しているが、交差部側、交差部反対側に各々応力集中の傾向が顕著に見られる。A-A断面では、交差部反対側で 7176 kg/cm^2 の最大主応力が、また、交差部との会合部で 10866 kg/cm^2 もの最大主応力が生じている。また、B-B断面についても交差部反対側で 7210 kg/cm^2 の最大主応力を示し、C-C断面については交差部の反対側で 7111 kg/cm^2 、交差部側で 9440 kg/cm^2 の最大主応力を示している。これは、各断面共に交差部反対側では本線トンネル掘削時の1.1倍に相当する応力値を示しており、特に、A-A断面の交差部側については本坑掘削時の1.6倍に相当する値となっている。

局所安全率 $SF \leq 1.0$ の領域は、B-B断面では本線トンネル及び交差トンネルの壁面付近に分布しており、本線トンネル天端方向で0.1D程度の分布である。また、A-A断面については、本線トンネルと交差トンネルの $SF \leq 1.0$ の領域が相互に干渉しており本線トンネルと交差トンネルを包みこむ分布形状を示している。さらに、C-C断面では、 $SF \leq 1.0$ の領域が交差トンネル側に大きく分布しており、交差部側壁部では応力的に不安定な状態となることを示している。

局所安全率 $SF \leq 1.5$ の領域についても $SF \leq 1.0$ と同様の分布傾向を示しており、本線トンネル天端方向には、0.3D程度分布している。

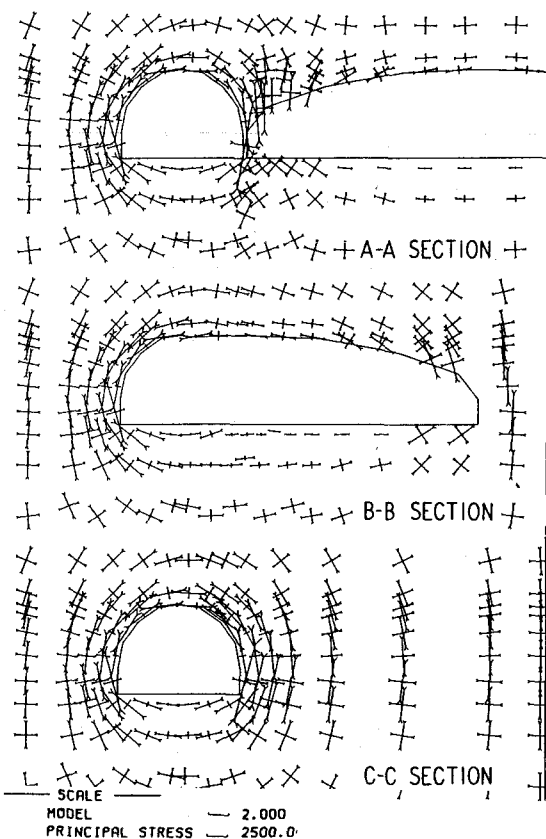


図-5 主応力分布図

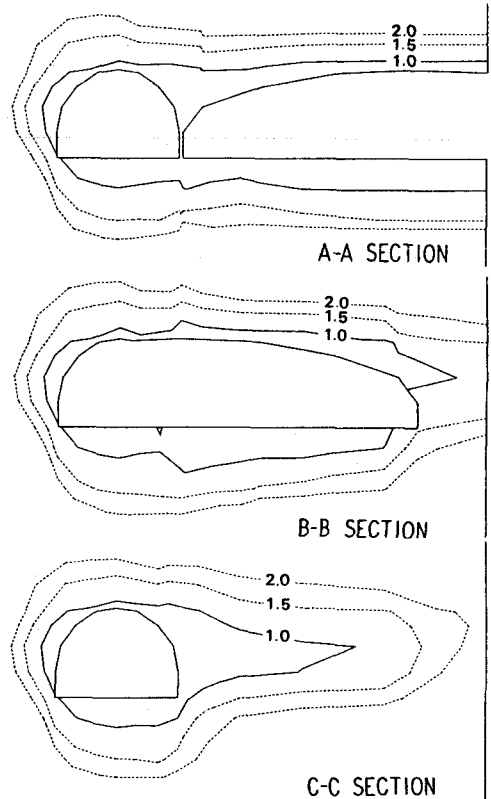


図-6 安全率分布図

3) 応力集中度及び影響範囲について

交差部の設計、施工に当って、補強の程度と範囲の決定は重要である。本解析では、交差トンネルが本線トンネルと斜交する場合について、交差部のくさび形状部への応力集中による影響範囲の状態を調べた。特に本線トンネル天端、本線トンネル交差部側脚部、本線トンネル交差部反対側脚部の以上3点について本線トンネル軸方向の変化を示したのが図-7、8である。図-7は、交差部掘削終了時の応力集中度を、また図-8は、交差部掘削終了時より本坑掘削終了時の応力を差し引いた交差部掘削増分応力についての応力集中度を示したものである。ここで応力集中度は、最大主応力を主被り圧で除いた値として表わしたものである。

本線トンネル軸方向での変化を斜交トンネルと直交トンネルと比較すると全応力、増分応力共に交差部側脚部(△、▲)で異なり、斜交トンネルの方が大きな応力集中度を示している。増分応力では、斜交トンネルと直交トンネルの差違が一層明確である。即ち、斜交では応力集中度1.6に対して直交では1.2、影響範囲は斜交で20、直交で15.0である。また、図-9では、本線トンネル軸方向の変位分布をバートルで示したものである。交差部付近で変位は増大し、その影響範囲は、ほぼ15.0程度であると言える。

3. おわりに

斜交トンネルの3次元有限要素解析から得られた結果をまとめると以下のようになる。斜交トンネルの場合も直交トンネルと同じ問題点を有しているが、その程度は厳しく、また、その影響領域も広い。

- ① 応力集中度は、斜交トンネルで1.6に対して直交トンネルは1.2
- ② 影響範囲は、斜交トンネルで20、直交トンネルは15.0
- ③ 変形挙動については、斜交トンネルと直交トンネルは、ほぼ同じ傾向を示している。

今後、本解析結果の検討をさらに進め、実測値との比較も行なう所存である。

〈参考文献〉

- ① 竹田直樹等「トンネル交差部における3次元的地山挙動について」第16回岩盤シンポジウム 1984.2
- ② Takino et'al. "3-dimensional Ground Behavior at Tunnel Intersection," Field Measurements in Geomechanics 1983
- ③ 竹田、眞村、伊藤「トンネル交差部の変形挙動について」第19回土質工学会研究発表会、1984
- ④ Takino et'al. "3-Dimensional Behaviour of Tunnel Intersection." Numerical Methods in Geomechanics, Nagoya, 1985

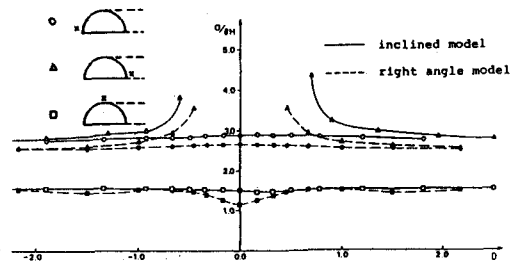


図-7 応力集中度(全応力)

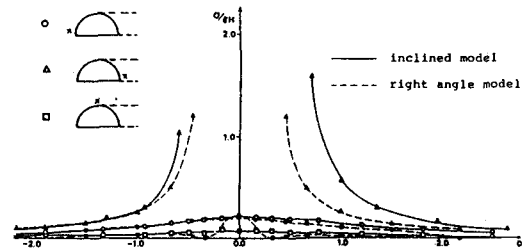


図-8 応力集中度(交差部掘削による増分応力)

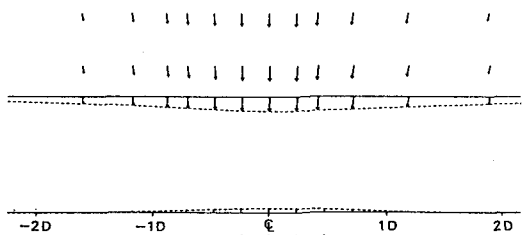


図-9 変位量分布図(E-E section)

(54) Influence of the Inclined Diversion Tunnel
on the Main Tunnel

F.Ito, N.Takeda, K.Kamemura
Taisei Corporation

SUMMARY

At the intersection area of the main tunnel and inclined diversion tunnel, the ground arch around the main tunnel is eliminated by the excavation and main tunnel yields unstable state. The ground around the main tunnel show the three dimensional behaviors of the stress and displacement.

Hence, at the intersection area, there are many complicated problems. However, these problems are not solved clearly and the excavation results of this kinds of tunnel intersection are very few.

Under these circumstances, authors have carried out the three dimensional FEM elastic analysis in order to clarify the three dimensional behaviors of the ground. The model for the analysis is shown in Figure 1, and the result of this analysis is shown in Figure 2, which means the concentration of the stress on the ground around the intersection. Based on the results of analysis, important points for design and excavation at the intersection are summarized as follows.

- 1) The concentration of the stress is 1.6 in the case of the inclined diversion tunnel and 1.2 in the case of tunnel at right angle.
- 2) The influential region is 2D in the case of the inclined diversion tunnel and 1.5D in the case of tunnel at right angle.
- 3) The distribution of the displacement is almost same in both cases and the vertical displacement is dominant.

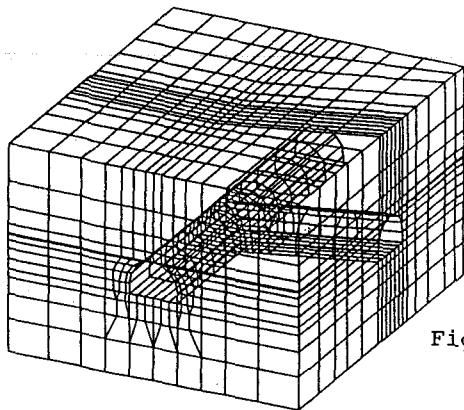


Fig.1 Three dimensional model
for FEM analysis

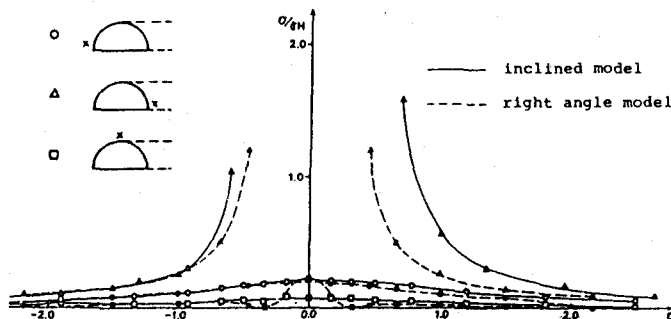


Fig.2 The concentration of the
stress around the intersection
($\sigma_h = \sigma_v$, increment stress)