

双設トンネル掘削時の相互影響に関する3次元数値解析

山口大学大学院 学生会員 ○森本真吾 山口大学大学院 学生会員 田中信次
山口大学工学部 正会員 進士正人 山口大学工学部 フェロー-会員 中川浩二

1. はじめに

近年、高知道や中国道をはじめ、暫定2車線で供用している高速道路の4車線化工事いわゆる双設トンネル化工事が増加している。これらの工事は、既設トンネル（以下、先行トンネル）に隣接して、新設トンネル（以下、後続トンネル）の建設を行う工事である。このような双設トンネルの場合、後続トンネルの設計・施工は、それ自身の安定性確保だけでなく、先行トンネルへの影響をもあわせて考慮する必要がある。

このような双設トンネルの研究は、2次元解析で行われたものが多く、3次元解析はあまり例がない。そこで本研究では、3次元数値解析により、双設トンネルの施工による相互影響、特に後続トンネルの施工が先行トンネルや周辺地山に及ぼす影響について、力学的な検討を行うことを目的とする。

2. 解析のモデル化

図-1に解析モデルの一例を示す。地山は等方弾性体のsolid要素とした。土被りは、100mを想定し、側圧係数は1とした。日本道路公団により分類されている地山等級相応の標準断面の双設トンネルをモデル化した。また、一次支保のみを設置し、掘削方法は全断面逐次掘削とした。解析ケースは、両トンネルの側壁間距離を0.5D、1D、2D、3D、5Dと変化させた5ケースに地山等級をB、CI、CII、DI、DIIと変化させた5ケースの計25ケースで検討した。

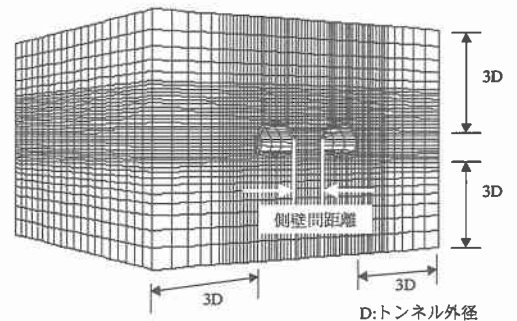


図-1 解析モデル

3. 双設トンネルの相互影響

(1) トンネルの内空変位からみる相互影響

双設トンネル掘削時の先行・後続トンネルの変位に着目し、相互の影響を把握する。

図-2に後続トンネル施工によって生じた先行トンネルの変位量を示す。これより、先行トンネルは天端が沈下し、内空は拡大している。弾性係数が小さくなるにつれて、変位量も増している。図-3に後続トンネル施工による先行トンネルの変形の一例を示す。図より、先行トンネルは後続トンネル側に引っ張られるように変形し、側壁間距離が短くなるにつれ、その傾向が大きくなる。

図-4に先行トンネル施工時の先行トンネルの変位量を100%とした場合の後続トンネル施工時の後続トンネルの変位量の比率を示す。後続トンネルの天端沈下量は、側壁間距離が2D以上になると、先行トンネルと同程度であり、内空変位量は、先行トンネルより、減少している。このように、先行トンネル掘削による影響はあるが、変位が抑えられているので、側壁間距離を2D以上離して施工することで、施工中に生じる問題は少ないと判断できる。

図-5にDII地山における側壁間距離0.5Dの先行トンネルと後続トンネルの変形モードを示す。先行トンネルと比べ、後続トンネルの変位量が若干少ない。特に、先行トンネル側側壁部分の変位量が少ないことがわかった。

以上のことより、双設トンネルの施工は、側壁間距離2D以上あれば問題ないと考えられるが、近づくほど、単独のトンネルの場合と異なった変位挙動を示す。

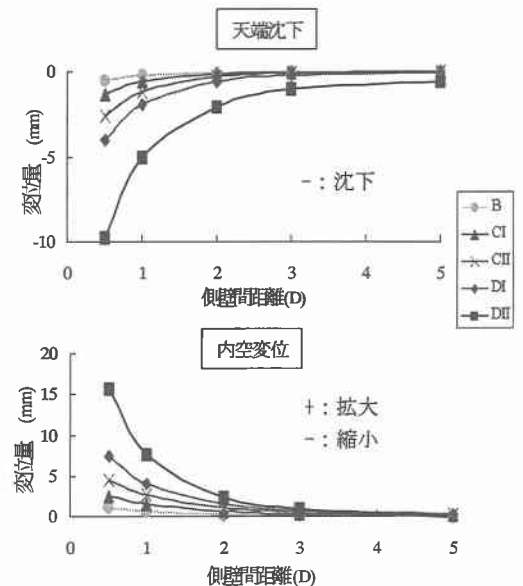


図-2 先行トンネルの変位量

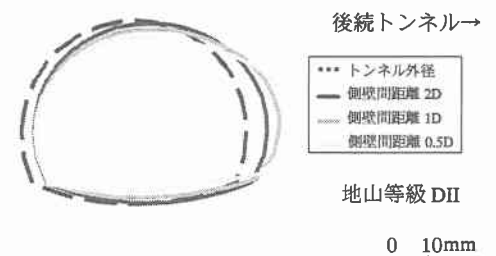


図-3 先行トンネルの変形

(2) トンネルに作用する応力からみる相互影響

図-6にDII地山に側壁間距離0.5Dで後続トンネルを施工した際に生じる先行トンネル周辺地山の応力の変化を示す。後続トンネル側の側壁部では、圧縮側に増加し、天端部では引張側に増加している。これは、図-3に示すように変形したためと考えられる。

4. 塑性領域に基づく周辺地山への影響の評価

先行・後続トンネル施工によって地山が塑性化し干渉すると、トンネルに有害な影響が発生すると考えられる。そのため、塑性領域が重ならないように施工しなければならないという考え方もある。そこで、「直接ひずみ制御法」を用いて、限界ひずみを求め、塑性領域を算出し、トンネルの安全性を評価し検討を行った。

変位や応力変化の大きいDII地山における側壁間距離0.5D、1D、2DのS.L断面の塑性領域を図-7に示す。図からわかるように、塑性領域が0.5D程度発生している。そのため、側壁間距離1D以下だと両トンネルの塑性領域が干渉することがわかった。また、側壁間距離0.5Dで後続トンネルを施工すると、後続トンネルの切羽前方に生じた塑性領域と先行トンネルの側壁に生じていた塑性領域とが干渉し、塑性領域が拡大している(図-7(a))。

表-1に検討の結果を示す。なお、塑性領域が干渉した場合を×、限界ひずみの1/2の値を用いて干渉した場合を△、それ以外を○として評価した。○と評価された条件で施工する場合、先行・後続トンネルに相互影響の問題は生じにくいと考えられる。表-1より、B地山は側壁間距離0.5Dで施工しても影響は少ないと考えられる。しかし、CI、CII地山は、側壁間距離0.5D以下の場合、注意が必要である。また、前述したように、DII地山は2D以上離して施工することが望ましい。

5. まとめ

双設トンネルの相互影響について検討するため、数値解析を行った。その結果、側壁間距離が2D以上あれば、塑性領域が重なることはなく、相互影響は小さいものと考えられる。DIより悪い地山で側壁間距離を2Dより近接して後続トンネルを施工する場合、塑性領域が重なり、トンネル天端部、および隣接トンネル側側壁部で変位、応力が増加する。このような影響が生じると考えられる範囲に、トンネルを施工しなければならない場合、先行・後続トンネルともに、何らかの対策が必要であることがわかった。

参考文献

1) 桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文集，第317号，pp.93～100，1982.1

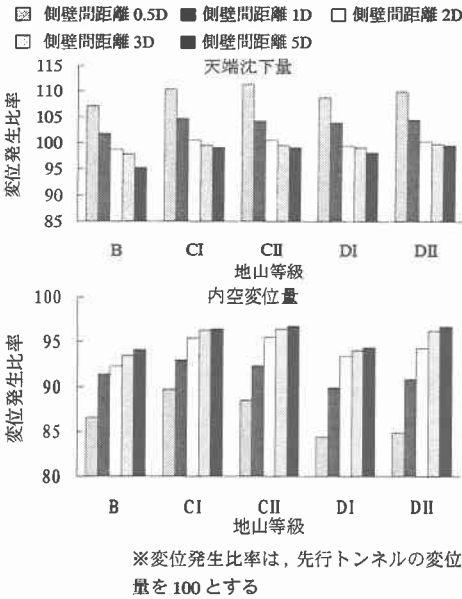


図-4 後続トンネルの変位発生比率



図-5 後続トンネルと先行トンネルの変形の一例

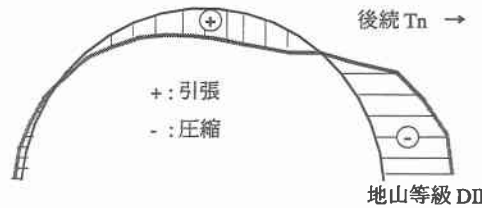


図-6 先行トンネル周辺の地山の応力変化

表-1 トンネル間の地山の塑性化

		地山等級				
		B	CI	CII	DI	DII
側壁間距離	0.5D	○	△	△	×	×
	1D	○	○	○	△	×
	2D	○	○	○	○	△
	3D	○	○	○	○	○
	5D	○	○	○	○	○

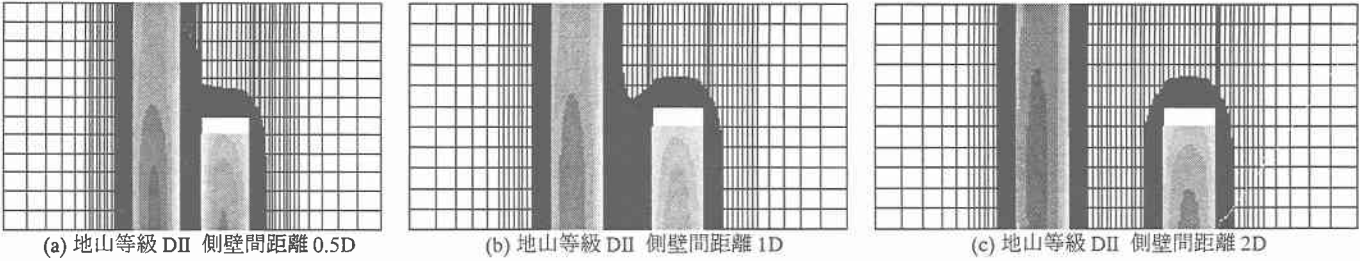


図-7 塑性領域