

III-292 二次覆工を考慮した

シールドトンネルの解析手法について

戸田建設株式会社 正会員 岡村 光政

1. ま え が き

二次覆工を考慮したシールドトンネルの解析では、一次覆工と二次覆工の連成挙動を、どのように評価するかが問題となる。セグメントリングを骨組構造に集中化し、セグメント及びリング継手をバネ要素(回転とリング円周及び半径方向のセン断)に置換するモデルにおいて、両覆工間の連成バネを、上記継手と同様なバネ要素のみで評価した場合、両覆工間の力の伝達がその接合面でなされる状況を正確に把握できず、リング断面力等の解析結果にも影響を及ぼす。

本報告は、上記の点を留意して両覆工間の連成バネを再評価し、これを用いることで、曲げ剛性の異なる二部材の連成解析を、より合理的に行うことができることを示し、併わせて、種々の数値実験によりシールドトンネルの一次・二次覆工の連成挙動について考察を加えたものである。

2. 覆工間連成挙動の定式化

図1は、重ね合わされた二部材が、変形後その接合面で相対的なズレを生じた状態を示している。変形前に同一断面内で一致していたA'とB'の変位成分を、 $[X']$ とすると、各々の点と同一断面内にある部材図心点A'とB'の変位成分 $[X]$ で表わすと、次式となる。

$$[X'] = [\alpha] \cdot [X] \quad (1)$$

また、力の釣合いより、A'とB'の節点力 $[P']$ は、A'とB'の節点力 $[P]$ を用いて、次式によって表わせる。

$$[P'] = [\beta] \cdot [P] \quad (2)$$

一方、A'とB'の相対変位が両部材のズレを表わし、両点が回転バネ等のバネ要素で結合されているとすれば、節点力と節点変位の関係は、次式によって表わされる。

$$[P'] = [K] \cdot [X'] \quad (3)$$

(3)式に(1)、(2)式を代入し、整理すると、接合面での力の伝達を考慮した、両部材間の剛性方程式を得ることができる。

$$[P] = [\beta]^T \cdot [K] \cdot [\alpha] \cdot [X] \quad (4)$$

3. 数値実験及び考察

図2に、単純梁をモデルとした、二部材の連成に関する数値実験の結果を示す。グラフの横軸は、接合面の部材軸方向のセン断バネ定数を表わし、縦軸は、部材中央点の鉛直変位量を表わしている。

これより、上述の定式化した手法を用いることで、二部材の接合面の結合状態に応じ、重ね梁としての挙動から完全合成断面としての挙動まで、合理的に取扱うことが証明された。

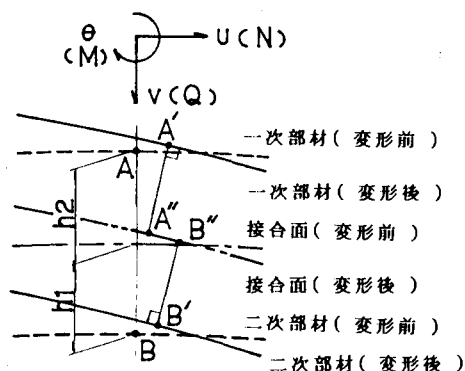


図-1 二部材連成模式図

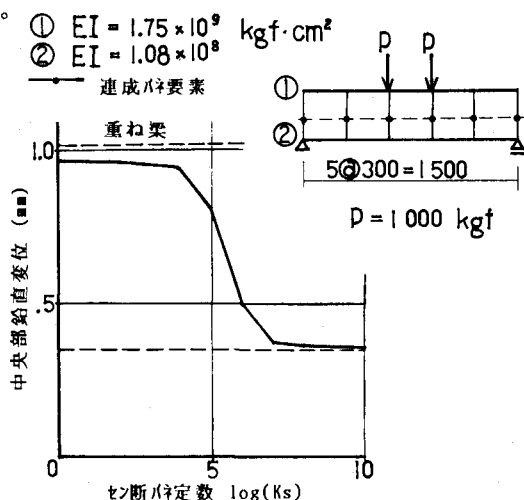


図-2 単純梁モデルの連成解析結果

図3に、シールドトンネルを対象とした解析モデルを示す。セグメント継手のバネ要素のうち、軸・セン断バネ定数は無限大、回転バネ定数は $1 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{cm} / \text{rad}$ とし、リング継手間のバネ要素は、回転バネをフリー、リング円周・半径方向のセン断バネ定数を $1 \times 10^6 \text{ kg} / \text{cm}$ とした。また、リングは三リング千鳥組みされているものとし、慣用的な荷重系を用いている。尚、リング側方の地盤バネ定数は、 $5 \text{ kg} / \text{cm}^2$ とした。

図4に、両覆工の接合面のリング円周方向バネ定数を無限大とした場合の解析結果を示す。ここでは、覆工間が離間する場合、上記のバネ値を無視できる程度に低下させ、離間の影響を考慮した。これより、二次覆工の存在により、一次覆工の最大モーメントが、二次覆工のない場合よりかなり低減できることが分る。一方、その低減分のモーメントは、全てが二次覆工によって分担される訳ではなく、両覆工の軸力分担の増減でカバーされていることが明らかとなった。

図5には、接合面の無次元化したセン断バネ定数 K_s^* と、リング鉛直直径の変化量の関係を示した。これによると、 $K_s^* = 1 \times 10^3$ 前後に、重ね梁的な挙動から完全な合成構造への遷移領域があり、 $K_s^* = 1 \times 10^2$ 程度のセン断バネ定数が確保されれば、両覆工を合成構造として取扱い可能になるものと考えられる。コンクリート複合断面の接合面ズレ特性に関する既往の研究^(注)によると、ジベル等の有無にかかわらず K_s^* は、 1×10^2 程度である。従って、一次覆工にコンクリート系セグメントを用いる場合でも、特にジベル筋等を配置しなくとも、弾性範囲内では、合成断面に近い挙動を期待できるものと考えられる。

4. あ と が き

シールドトンネルの設計において、一次覆工を永久構造物とする考え方は、一次・二次覆工の施工時期にタイムラグが存在し、その間の荷重変化(主に土圧)を合理的に評価しえない為に慣用されているものである。従って、荷重作用の初期段階から一次・二次覆工の連成が可能となれば、より経済的な断面設計が可能となる。今後、二次覆工の本体利用のメリットをより活用する為には、一次・二次覆工の同時施工システムの確立が有効な手段となる。これは、シールド工期の短縮にもつながるものである。

(注) 乙藤他「コンクリート合成桁の接合面に関する研究」プレストレストコンクリート Vol.9 No.2 1967 他

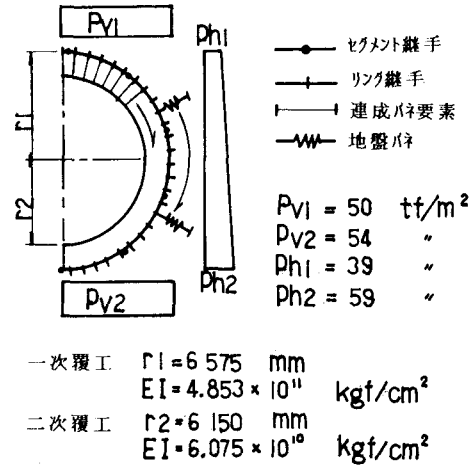


図-3 シールドトンネル建成解析モデル

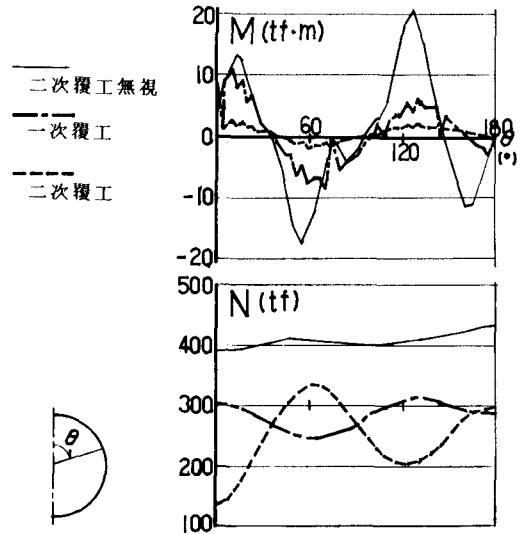


図-4 各覆工の断面力分布

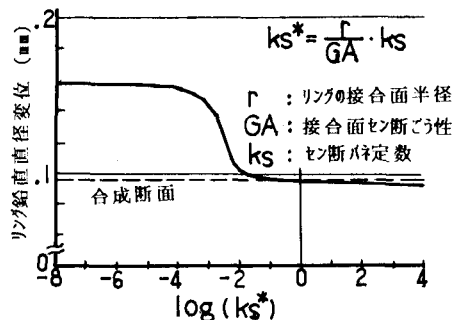


図-5 合成一体化に対する接合面結合状態の影響