

大林組技術研究所 正員 齊藤二郎

同 同 内藤和章

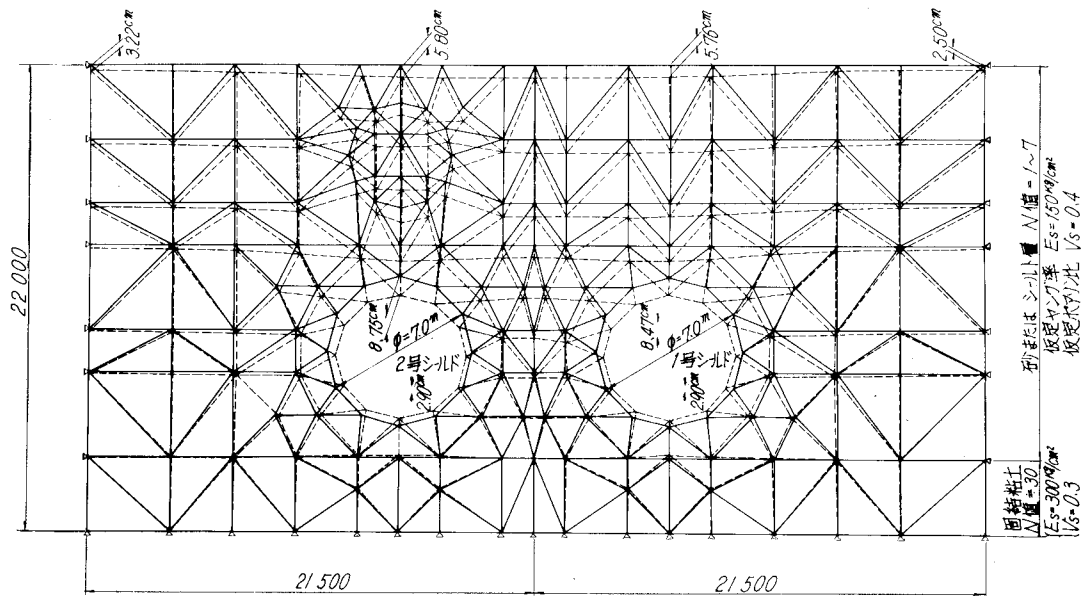
同 同 ○藤原紀夫

1. まえがき

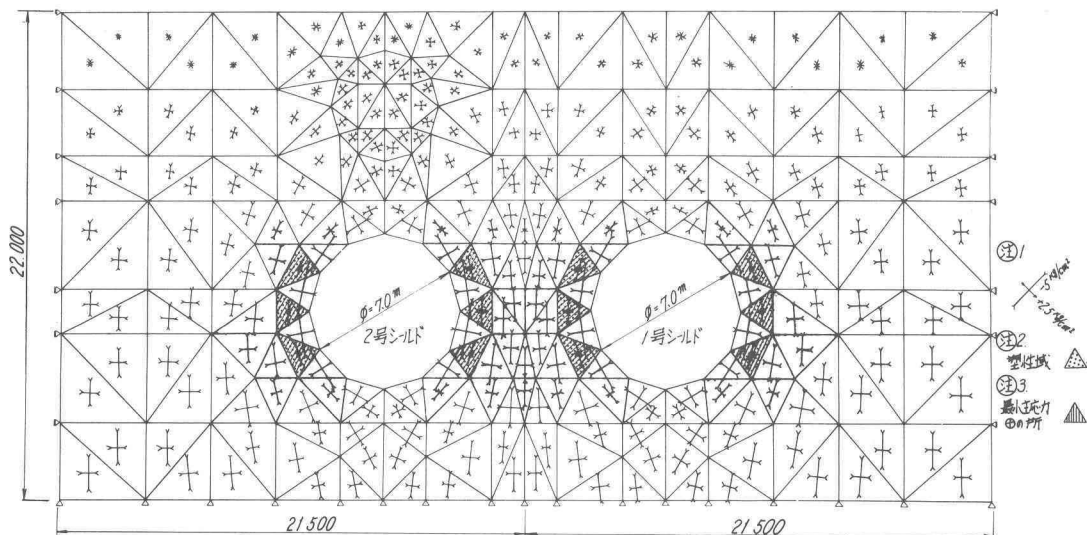
有限要素法は、近年電子計算機の発展と結びついて、構造力学、連続体の力学をはじめ、熱および浸透流など応用力学のあらゆる分野に浸透している。この解析方法をシールド外周地盤の挙動解析に用いる試みは、これまでもいくつか報告されている。この解析方法の利点は、地盤内各点の応力と変位を計算し、これらを図示することができるために、地盤内部の全体にわたって明瞭にその挙動を見ることができる点にある。しかし、実際にこの方法で解析した場合、問題点も多い。以下に、実際に施工される工事について行なった三つの解析例を示し、その評価について述べることにする。

2. 並設シールドの場合（解析例・その1）

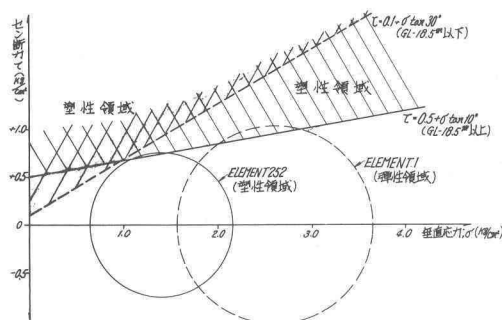
この解析例は地下鉄の並設シールドを施工後、その上方に共同溝を建設する場合、オープンカット工法が良いか、シールド工法が良いかを検討するために行なったものであるが、ここでは並設シールドの施工までの結果について述べる。解析手順は重ね合せ法¹⁾と呼ばれる方法を用いた。すなわち、地盤内にトンネルが掘削されている状態を考え、それに自重および外荷重を作用させた場合を解析するもので、トンネル掘削によって生ずる変位量は、この条件のもとで得られた値から、掘削前の初期沈下量を差し引いて求める。応力状態はさきの解析結果によってそのまゝ与えられる。次に計算条件は (a) 地盤は完全弾性体と仮定 (b) 解析は平面歪み問題としてシールド横断面について二次元的に取り扱う (c) セグメント覆工は考慮しない。すなわち、シールド外周面の地盤変位はテールクリアランス



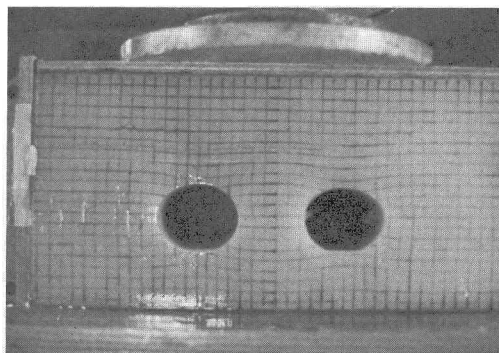
(図-1) 1号、2号シールドが通過した時の地盤変位図



(図-2) 1号, 2号シールドが通過した時の地盤内応力図



(図-3) 塑性領域の判定図



(図-4) 寒天模型実験によるトンネル孔の破壊

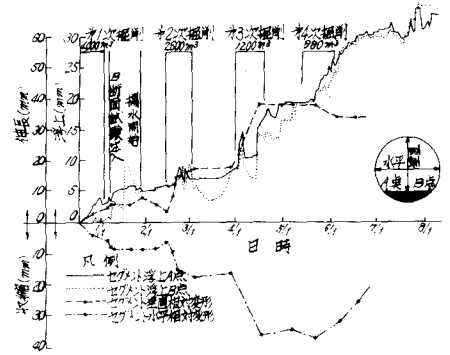
を越えない (d) 地盤定数等は (図-1) の右端に示す値を用いた (e) 上載荷重は考えていないので、節点荷重は自重によるもののみとなる。(図-1) に 2 本のシールドが通過した時の地盤変位図を示す。掘削孔 ($\phi=7.0\text{ m}$) は 1 号, 2 号シールドとも、全体に縮められるように変位し、坑頂で約 8.6 cm 下がり、坑底は約 2.9 cm 浮上がっている。地表面の沈下は両シールドの中央で最大となり約 6.0 cm を示している。(図-2) はこの時の地盤内応力図である。図中で黒くぬりつぶした部分は塑性域である。これは、クーロンの破壊基準 $\tau = C + \sigma \tan \phi$ を用いて、計算した主応力からモール円を描き、判定したものである。(図-3) はその判定の一例である。上述の C と ϕ は土質試験結果の値を用いた。また、塑性域のつながり具合からみて、並設間隔はシールド外径以上は必要であると言える。一方、有限要素法解析の妥当性を調べるために、寒天を地盤に見立てて、これにトンネル孔を掘って、地盤の挙動をチェックしてみた。(図-4) は 2 本のシールド孔を掘削した後、上載荷重 40 Kg をかけて掘削孔を降伏状態にした時の写真である。写真の中の格子線は、地盤内の変位状態をみる目的で、掘削前に正方形に画いたものである。地盤内の変位は (図-1) に似た傾向を示し、塑性領域は (図-2) に示したように、トンネル孔の両側部からでき、ここから破壊してゆくのが見られる。

3. 既設シールドトンネルの上側部を開削した場合（解析例・その2）

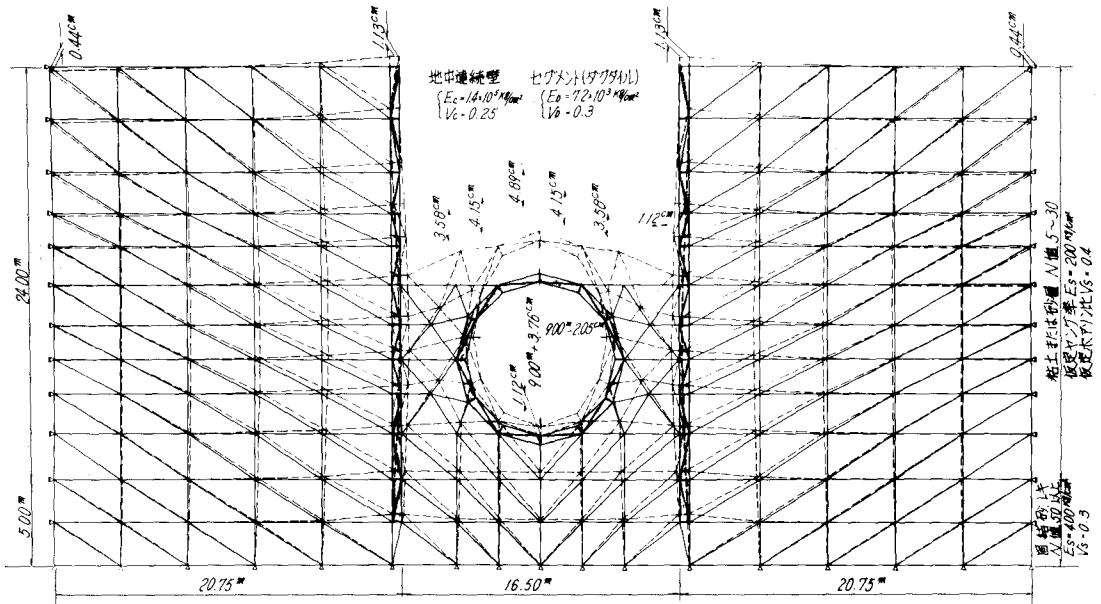
大阪において、営業中の複線断面シールドトンネル40cm区間を駅部に改造するために、トンネルの上側部を開削する工事が行われた。開削に先だって、トンネルの両側には地中連続壁が施工された。³⁾（図-5）はセグメントの相対変位と浮上量の経時変化図である。掘削が進むにつれて、セグメントは水平方向に縮み、垂直方向は伸び、その量はほぼ等しく最大40mmに達している。また、掘削につれてセグメントは浮上し、最大35mmに達している。図中に示す第1次、2次、3次、4次掘削とはトンネルの坑頂から、それぞれ6.50m、1.90m、0.0m、-3.70mの所までの掘削を意味している。（図-6）は有限要素法で解析した、第3次掘削時点におけるトンネルを含めた地盤の変位図である。計算手順は前述した重ね合わせ法を用いており、地盤・セグメント・地中連続壁の弾性定数は本図の中に示した通りである。坑頂で4.9cm浮上がり、坑底部は1.1cm浮上がっている。セグメントの相対的な変形は垂直方向に3.8cm伸び、水平方向には2.1cmだけ縮んでいるのがみられる。これらの値は（図-5）に見られる第3次掘削時点における実測値とほぼ等しい。

4. 切羽の安定（解析例・その3）

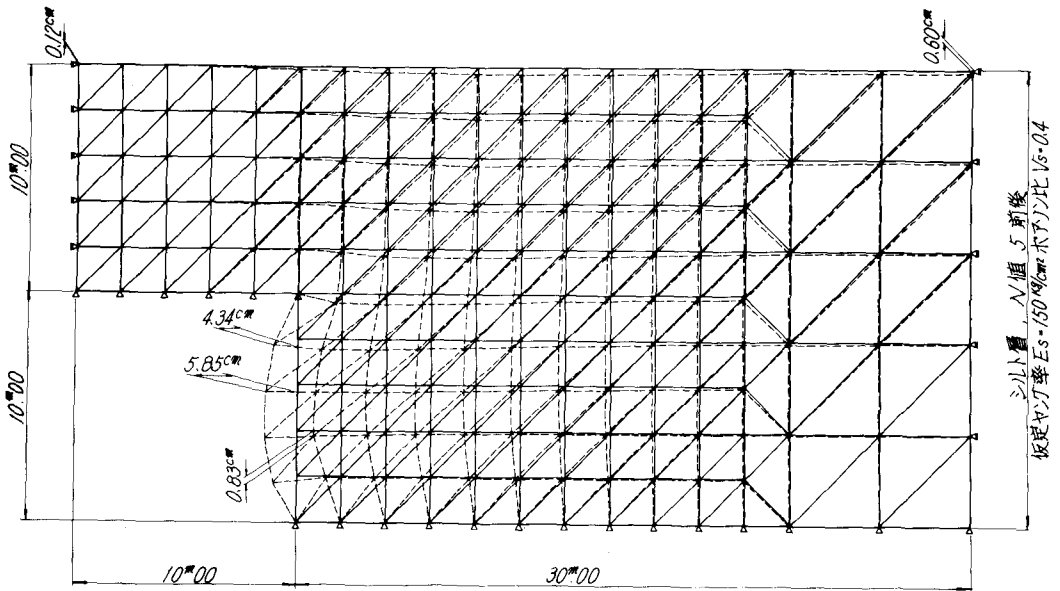
シールド工において、切羽の安定は重要である。切羽の安定が保たれないと切羽の崩壊をきたす。崩壊しないまでも、大きな地表面沈下の誘因となってしまう問題は起こす。実際の施工にあたっては、切羽面の土質が軟弱な場合には、切羽をフェースジャッキで押さえ、切羽全面を一度に開放することなく、一部ず



（図-5） セグメントの相対変形と浮上



（図-6） トンネル上部を開削した時の地盤とトンネルの変位図（第3次掘削）



(図-7) 切羽を全面開放した場合の地盤内変位図

つ開きながら掘削を進めてゆく方法がとられる。したがって、解析例としては比較的軟弱なシルト層を通過するシールドを想定し、切羽をフェースジャッキで押えないで、全面開放にした場合の変位および応力状態を解析することにした。(図-7)は解析結果であり、土被りとトンネル外径が等しい場合の地盤変位図である。この場合の計算手順も重ね合せ法を用いており、計算条件は図中に示す地盤定数と境界拘束状態を用いている。このような土質では、切羽面が比較的大きく(5.8 cm)ふくれ出しても、地表面にはその数十%(1.2 cm)程度しか影響しないのが見られる。

5. 結 び

以上に示した解析例に見られるように、有限要素法は外周地盤の挙動解析に用いて非常に有効な手法であると言える。一方、この解析結果についての問題点を述べると、地盤挙動の傾向はつかめても、その絶対量(変位量等)についてはそのまゝ信用することが出来ない点にある。前述の解析例において、今後改良すべき点を具体的に述べると次のごとくなる。(1)二次元解析であるため、横断方向の地盤のゆるみと、同時に起こる切羽の呼び込みを同時に解析していない。(2)地盤を弾性体と仮定するのは無理があり、加えてこの弾性定数を決定する確たる証拠が得られていない。(3)トンネル掘削時における地下水低下による影響、たとえば圧密現象等は考慮されていない。(4)境界拘束条件と要素の大きさ等についての詳しい検討がなされていない。(5)裏込め注入の影響も考慮していない。これらの問題点のうち、あるものは容易に解決されうるものも含まれているので、今後の解析では、大いに検討を進めてみたい。

参考文献

- 1) 川本, 上野, 宮地, 双設トンネルの開削に伴う応力および変形状態, 土木学会第24回講演Ⅲ-95
- 2) 新井, 好井, 中村, シールド外周地盤に対する有限要素法の活用例, 土と基礎, June, 1971
- 3) 内藤, 藤原, 芳賀, シールド工事における現場測定について, 土と基礎, January, 1972