

有限要素法による防護工効果の解析例について

内藤 和章 吉岡 尚也
(本社技術本部土木技術部)

藤原 紀夫

Application of Finite Element Method to Analysis of Effect of Protective Work

Kazuaki Naito Hisaya Yoshioka
Toshio Fujiwara

Abstract

In the last few years, it has been attempted to apply analysis by the finite element method to actual civil engineering structures. Examples of analysis of the degree of protective effect furnished when constructing structures such as a tunnel after protection of existing structures beforehand are described. The following two examples of analysis are shown: i) analysis of earth pressure acting on the tunnel lining when driving a tunnel in the vicinity of an existing structure protected by underground walls, and ii) construction of an embankment for housing construction on protecting an existing railway line by rock embankments and ground improvement.

概 要

ここ数年来、有限要素法による解析方法を土木工事の実際の構造物に応用することを試みてきた^{1),2),3),4)}。ここでは、それらのうち既存構造物をあらかじめ防護しておいてトンネル工事などを施工した場合、どの程度防護効果があるかについて解析した例を述べる。解析例として、i) トンネル通過部に近接した既存構造物を地中壁で防護して、トンネルを掘削した場合とそのときのトンネル覆工に作用する土圧解析、ii) 既庄の鉄道路線をロック盛土と地盤改良で防護して宅造盛土を施工したときの2つについて述べる。

1. はじめに

最近、土木工事はますます複雑に入り組んだものになってきており、隣接する構造物に与える影響を考慮することなしに工事を進めることはできなくなっている。既存の構造物に悪影響を及ぼすと思われる場合には、何らかの防護工が施工されることが多い。しかし、この防護工の効果がどの程度あるのかを予想することは難しい。有限要素法による解析は多少の問題点はあるにしても、その効果を数値で示すことができるため、非常に有力なものである。

以下に、有限要素法によって防護工の効果を判定した2～3の解析例について述べる。

2. 地中防護壁を設けてトンネルを掘削した場合 (解析例 1)

このトンネルは、既存の構造物(RC 4階)に10数m

から数10m近接して掘削される。そこでまず、この構造物を防護するために、トンネルとの間に地中壁を設けた場合、どの程度効果があらわれるかについて解析したものを述べる。

地盤の諸定数は表1の値を用いる。既存構造物の上載荷重については、3つのフーチング(図1(A)の黒く塗りつぶした部分)がトンネル側からそれぞれ142 t、240 t、98.4 t ずつ受け持っているものとする。

図1(A)、(B)にそれぞれトンネルを掘削したときの地

名 称	単 位	フーチング および 地 中 壁	地 盤 (I) 上 層	地 盤 (II) 下 層
ヤング率E	t/m ²	2.1×10 ⁶	3000	4500
ポアソン比		0.25	0.35	0.35
単位体積 重量γ	t/m ³	2.3	1.7	1.7

表一 地盤の諸定数

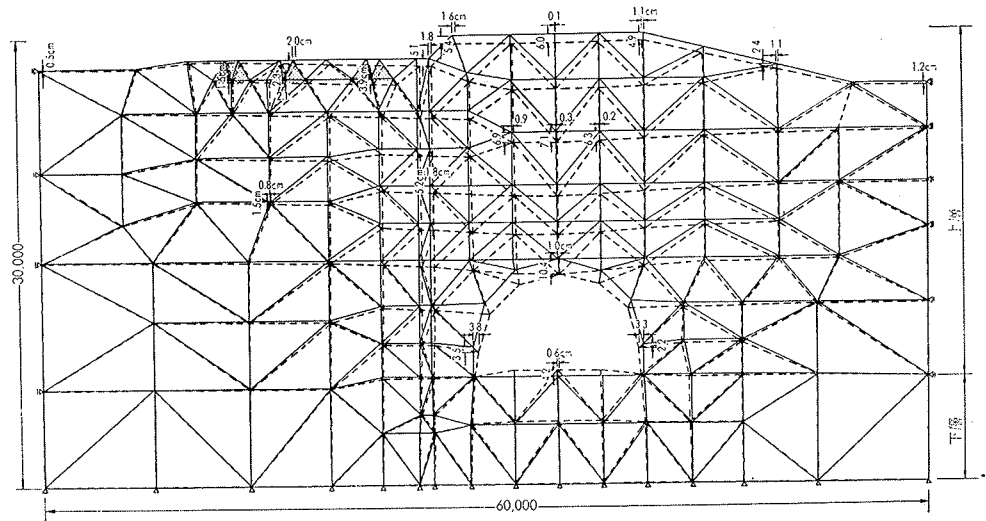
盤内の変位を示す。図1(A)が地中壁のない場合で、図1(B)が地中壁を設けた場合である。図1(B)で細長く塗りつぶした部分が、地中壁(幅60cm、深さ23.8cm)にあたる。これらの図からも明らかなように、地中壁があるとないとは両者にかかなりの差が認められる。

図1(A),(B)から、特に地表面の沈下を描いてみると図2のようになる。実線が地中壁のある場合、一点破線が地中壁のない場合である。図からわかるように、既存構造物の沈下量は地中壁を設けたことにより半分以下になる。また構造物側の傾斜については、地中壁がなければ1/400になる。鉄筋コンクリート造りの場合には1/500程度以下の傾斜に押えることが望ましいとされているから⁹⁾、地中壁を設けずにトンネルを掘削すれば、既存の構造物に支障をきたす恐れがある。これに対し地中壁がある場合には、1/1400にすぎない。

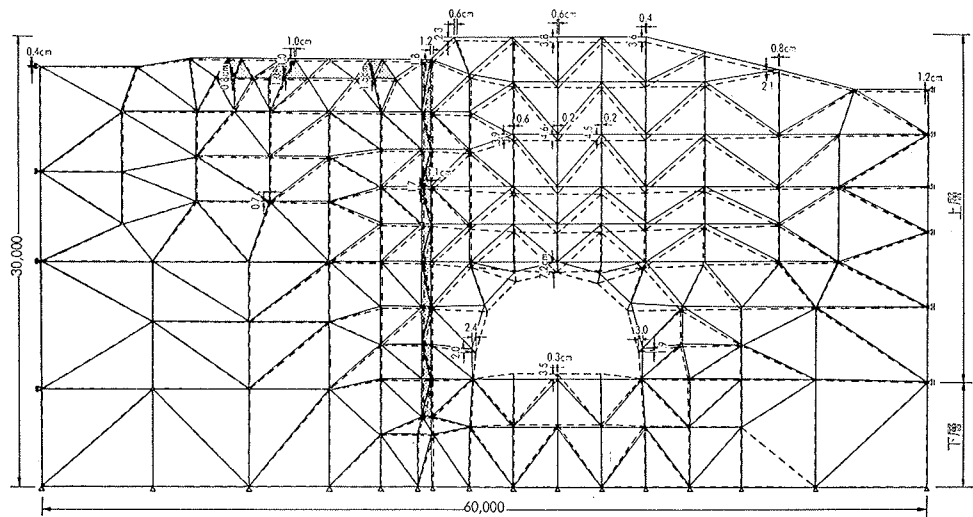
以上から、防護壁としての地中壁設置は非常に効果があると言える。

つぎに、トンネル覆工に作用する土圧について解析したものを述べる。トンネルの覆工はアーチ部と側壁部を巻厚60cm、インバート部を厚さ40cmのコンクリート覆工とする。解析条件については先と同じである。

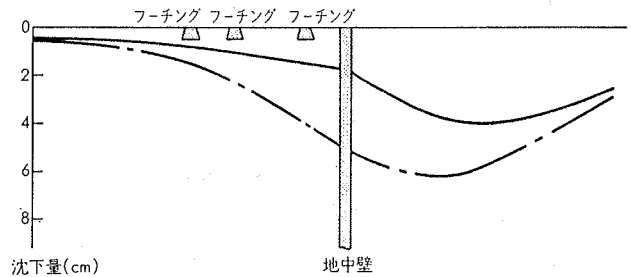
図3(A),(B)はトンネルを掘削したときの地盤内の最大主応力 σ_1 と最小主応力 σ_3 を図示したものである。図3(A)が地中壁のない場合で、図3(B)が地中壁を設けた場合である。いずれの場合も、土圧はトンネル孔壁全体を押しつぶすように作用しているが、地中壁がないときは構造物側のトンネルアーチ部に偏圧を生じているのが認められる。



図一(A) 地中壁を設けずにトンネルを掘削したときの変位



図一(B) 地中壁を設けてトンネルを掘削したときの変位



図一2 地表面の沈下曲線

Case 3 地震時でロック盛土下の地盤改良あり
 ここで、地震時とは水平震度0.2を仮定している。解析に用いた地盤定数と解析断面をまとめて表2に示す。表2で黒く塗りつぶしたところが、ロック盛土下の地盤改良部分にあたる。

Case 1, 2 の解析結果をそれぞれ図5, 6に示す。図で破線が盛土完成後の変形量を示している。

Case 3については図示していないが、Case 3も含めた3つの解析結果をまとめると表3のようになる。

Case 1とCase 2の結果を比較してみると、ロック盛土下の地盤改良はしてもしなくても、既存の鉄道路線の盛土への影響はほとんど変わらない。しかし、D地点の変形量はロック盛土下の地盤改良によって大幅に減少する。

以上から、宅造盛土工事による既存の鉄道路線の盛土への直接の影響はないと言える。しかし盛土工事を安全に施工する（すなわち、D点のはらみ出しを小さくする）ためには、防護対策としての地盤改良は意味のあるものである。

Case 3の場合は相対変位量を示したものであるが、A, B地点がほとんど変位していない。これは既存の

改良前						改良後					
地盤	γ (t/m ³)	E(t/m ²)	ν	C(t/m ²)	ϕ (度)	地盤	γ (t/m ³)	E(t/m ²)	ν	C(t/m ²)	ϕ (度)
①	1.5	315.0	0.40	1.3	0°	⑦	1.8	10000.0	0.25	0.01	30°
②	1.7	1740.0	0.35	1.0	25°	⑧	2.0	10000.0	0.25	2.0	30°
③	1.8	2910.0	0.30	2.0	34°	⑨	1.8	10000.0	0.25	0.01	30°
④	2.0	18410.0	0.25	160.0	60°						
⑤	1.8	3240.0	0.30	2.0	34°						
⑥	1.7	2040.0	0.35	1.0	25°						
⑦	1.7	1740.0	0.35	1.0	25°						
⑧	1.5	315.0	0.40	1.3	0°						
⑨	2.0	2540.0	0.30	0.91	35°						
⑩	1.8	2040.0	0.30	2.0	30°						
⑪	2.0	2540.0	0.30	0.91	35°						
⑫	1.7	2040.0	0.35	1.0	25°						

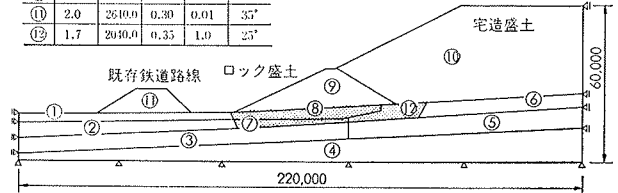


表-2 地盤定数

Case	地点	A	B	C	D	E	F
1	水平変位(cm)	-0.5	-0.5	-0.7	-13.0	-10.0	-4.1
	鉛直変位(cm)	0.0	+0.2	+0.3	-1.5	-25.3	-25.9
2	水平変位(cm)	-0.4	-0.4	-0.5	-2.8	-2.0	-3.2
	鉛直変位(cm)	0.0	+0.1	+0.2	-0.9	-7.2	-21.4
3	水平変位(cm)	-0.6	-0.7	-0.9	-5.2	-6.6	+0.4
	鉛直変位(cm)	+0.1	+0.2	+0.4	-1.4	-7.5	-21.8

表-3 解析結果

(ただしA~Fは図-5, 6を参照)

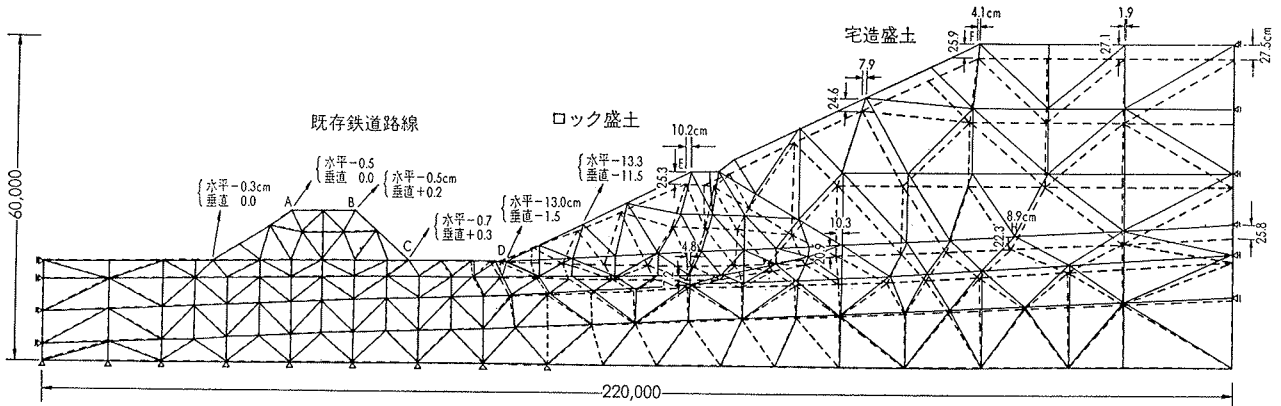


図-5 盛土完成後の変位 (Case 1の場合)

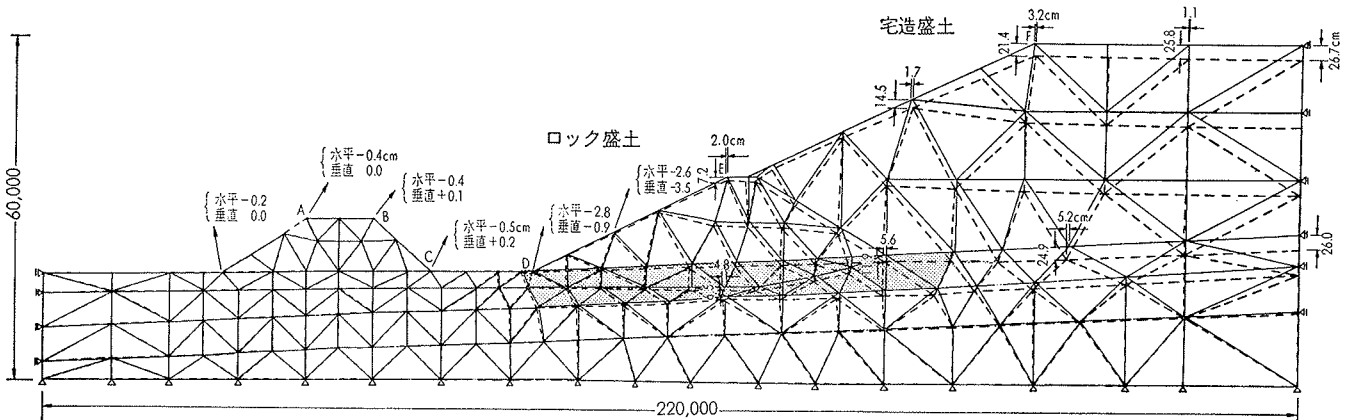


図-6 盛土完成後の変位 (Case 2の場合)

鉄道路線の盛土が、地震時でもこの宅造盛土によってとくに悪影響を受けないことを意味している。

4. おわりに

防護工の良し、悪しはその工事全体の成否を左右すると言って過言ではない。しかし、防護工は本体構造物にとっては不必要なものであるため、過大な設計によってこれを実施すれば、まったく無駄なことになる。このような理由から、防護工効果の判定は重要な問題である。しかし、これまでは適当な判定方法もなく、本体構造物に直接関係ないことから、あまり深く検討されないことが多かった。

以上の解析例で示したように、有限要素法はこの防護工効果の判定に用いた場合、非常に有力な手法である。

参考文献

- 1) 斎藤, 内藤, 藤原: 有限要素法によるトンネル外周地盤の挙動解析例, 大林組技術研究所報, No. 7, 1973
- 2) 斎藤, 藤原: 有限要素法による浸透流・熱流などの解析, 大林組技術研究所報, No. 7, 1973
- 3) 斎藤, 内藤, 藤原: 有限要素法によるシールド外周地盤の挙動解析(弾塑性), 大林組技術研究所報, No. 8, 1974
- 4) 斎藤, 内藤, 藤原, 吉岡: 有限要素法による地盤の粘弾性解析, 大林組技術研究所報, No. 11, 1975
- 5) 宮下和夫: アーストンネルの設計と施工, 山海堂, pp. 90~95