

III-65

ロックボルトとアンカーを使用した地盤補強工法の地下空間への適用に関する数値実験

(株)青木建設 正会員 〇國村 省吾
(株)青木建設 江部 利信
東急建設(株) 正会員 広井 恵二
建設省土木研究所 正会員 小野寺誠一

1. はじめに

ロックボルトとアンカーを併用して地盤を補強し地下空間を建設する工法は、線状構造物・立体構造物(スポット空間)の双方に利用可能と考えられる。特に鉛直壁の補強に有効であることは要素実験¹⁾で確認している。ここで線状構造物(道路)を東京都23区内の大深度地下に建設することを想定して、対象地盤を地下水を包含している未固結地盤(砂・砂礫)と砂層が挟在する固結地盤(土丹)の2地盤を選びFEMによる数値実験を行った。

2. FEMによる解析方法

2.1 解析モデル 数値実験の対象は大深度地下に1方向2車線2層構造の道路とした。立地条件は、地下空間の天端を地下-50mで側部に鉛直壁を持つ形状とし地表面の条件は設定しない(図-1)。ここで、この鉛直壁を持つ形状は円形に対し掘削断面積が20%減小する。このロックボルトとアンカー併用工法は仮設として考えており、今回の数値実験では最終的な2次覆工に対する検討は行っていない。

2.2 解析手法 解析は、FEMによる2次元平面ひずみ状態で弾塑性解析を行う。解析に関する仮定及びモデル化については要素実験の解析¹⁾を参照されたい。地下水を止水し、掘削、その掘削面をロックボルト、アンカー、吹付けコンクリートで補強する施工手順を適切に反映させて解析を実施する(図-2)。解析対象領域は、地盤・空間形状ともに空間中心軸に対して対称形としたので右半断面とした。地盤はDrucker-Pragerの降伏条件を用いた弾塑性とし、地下水位以下は有効応力に基づくものとする。地下水は静水圧状態と仮定し、水圧は掘削に伴い地盤の地下水位と地下空間内の地下水位の

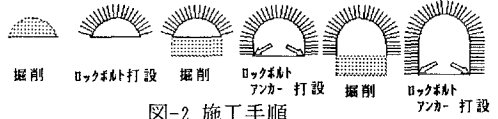
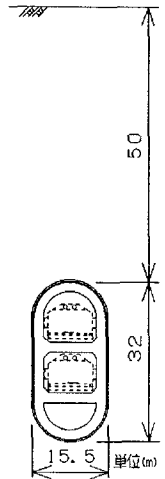


図-2 施工手順

差を止水領域境界に節点外力として作用させた(図-3)。掘削による解放応力を砂質地盤では100%、粘性地盤では粘弾性的な材料特性を考慮して支保部材建て込みまでの解放応力を50%と仮定する。ロックボルトの降伏を考慮し、降伏応力に達すると剛性を低下させた(図-4)。アンカー力は、節点外力で入力した。

2.3 解析条件 未固結地盤は東京都23区内西南部、GL-41.3m以下がN値50以上、CD試験での ϕ が 37° の砂礫層で、地下水位はGL-7.9mであった。固結地盤は東京都23区内西部、GL-18m以下が泥岩で q_u が 20.4kgf/cm^2 、UU試験での c は 9.5kgf/cm^2 である。未固結地盤では地下水対策として薬液注入による止水・地盤補強を行うことを想定した。地盤改良強度の設定は、大型注入実験²⁾の超微粒子LWの実験結果から決定した。また、ロックボルトの降伏強度は15tとしそれ以後は剛性を弾性時の1/200とした。一回の掘削深さは、未固結地盤は2m、固結地盤は4mとし一定とした。図-5に未固結地盤と固結地盤の解析手順、図-6に解析に使用したメッシュ、図-7に地盤条件及び境界条件、表-1に解析ケースを示す。

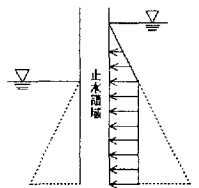


図-3 地下水压

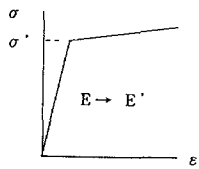
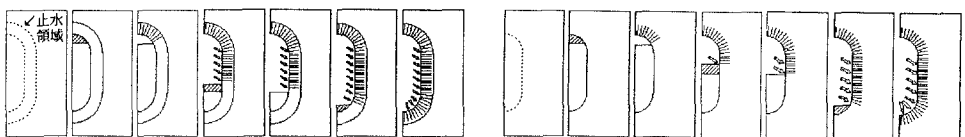


図-4 ロックボルトの剛性



初期応力 掘削 打設 掘削 打設 掘削 打設 初期応力 掘削 打設 掘削 打設 掘削 打設
(未固結地盤) (固結地盤)

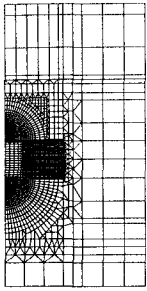
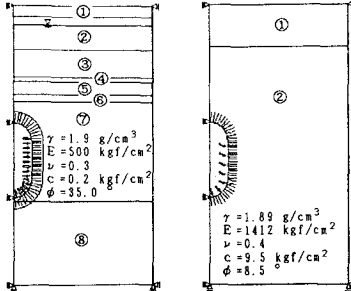


図-6 解析メッシュ



(未固結地盤) (固結地盤)
図-7 地盤条件及び境界条件

表-1 解析ケース

解析ケース	未固結	固結
地盤		
粘着力	kgf/cm ²	0.2
内部摩擦角	°	35
地盤改良		
粘着力	kgf/cm ²	5.0
内部摩擦角	°	35
単位体積重量	g/cm ³	1.9
変形係数	kgf/cm ²	4000
地下水位	GL -7.9m	—
ロックボルト		
長さ	m	4
打設間隔	m	1 × 1 m
アンカー		
設計力	t	120
打設間隔	m	2 × 2 m

3. 解析結果

未固結地盤は地盤改良域の天端と下半の表面の一部が、側部の自然地盤では大部分が塑性化している。側壁部は水圧の影響により空洞内へはらみ出しが大きい。

固結地盤は、塑性化する箇所はなく局所安全率も高い。ロックボルトの軸力は掘削毎に引張り力が増加し、15 tで降伏したものもあった。

仮に未固結地盤で地下水位を低下させると、鉛直側部のはらみ出し量は小さく、塑性領域は出現時期が遅くなり、また領域の分布も小さくなった。また固結地盤の粘着力を小さくすると、掘削毎に底盤の一部だけが塑性化した、それ以上の広がりにはなかった。

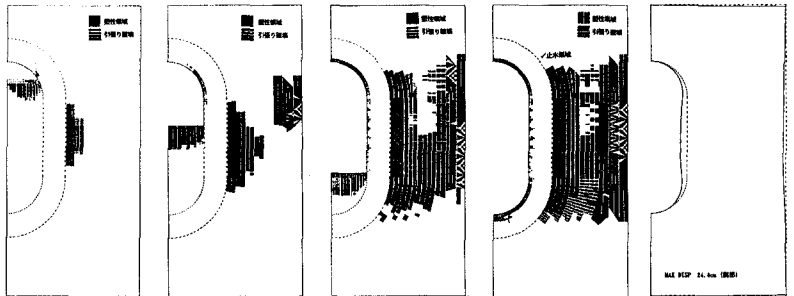


図-8 未固結地盤 第2掘削 塑性領域 図-9 未固結地盤 第7掘削 塑性領域 図-10 未固結地盤 第12掘削 塑性領域 図-11 未固結地盤 第17掘削 塑性領域 図-12 未固結地盤 第17掘削 変形図

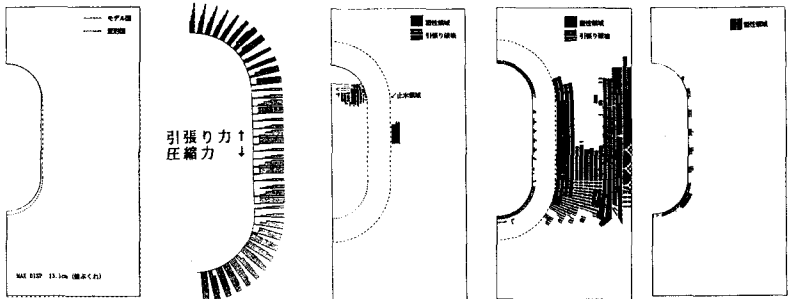


図-13 固結地盤 第8掘削 変形図 図-14 固結地盤 第8掘削 ロックボルト軸力 図-15 未固結地盤 塑性領域 GL-18.6m 地下水位を低下させた場合 図-16 未固結地盤 塑性領域 GL-18.6m 地下水位を低下させた場合 図-17 固結地盤 塑性領域 (c=5.0kgf/cm²) 粘着力を小さくした場合

4. まとめ

数値実験の結果からは固結地盤・未固結地盤も地下空間の建設は可能と考えられる。特に固結地盤でこの程度の規模の地下空間に関してはほとんど問題がないと考えられる。しかし未固結地盤では、解析では可能であっても実際には補助工法の施工に対する信頼性が高まらない限り、現実のものにはかなり難しいと考えられる。掘削完了後に構築される2次覆工には高水圧と共に大きな土圧が作用するものと考えられるが、設計に採用する土圧についてはさらに検討が必要である。また構造物の止水・漏水対策も考える必要がある。逆巻き工法により掘削と並行して2次覆工を行えば地山の安定にも効果的である。以上総合的に判断すると、固結地盤中の地下空間建設の可能性はほぼ問題なく、このロックボルトとアンカー併用工法が適用可能と考えられる。一方未固結地盤中のものは問題が多いものの、短い区間などで信頼性の高い補助工法を併用すれば、適用の可能性も出てくる。

5. おわりに

本検討は、地下総プロとしての『地盤補強・止水技術に関する研究』において建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターとの共同研究として実施したものの一部である。

参考文献: 1) 例えば國村, 小野寺他: 地盤補強に関する遠心載荷模型実験, 土木学会46回年報, III-360, pp742-743
2) 高橋, 國村, 小野寺他: 各種注入材を用いた注入実験(大型土槽実験), 27回土質工学研究発表会投稿中