

平成 25 年度
老朽化トンネル補強技術の研究 報告書

目 次

序

第 1 章 調査研究の概要	1
1.1 背景および目的	1
1.1.1 背景	1
1.1.2 目的	1
1.2 補強方法	1
1.2.1 現状と課題	1
1.2.2 着眼点と補強概要	1
1.2.3 補強方法の特徴	2
1.2.4 補強手順	3
1.2.5 施工状況概要	4
1.3 補強方法の適用範囲と適用方法	5
1.3.1 適用範囲について	5
1.3.2 適用方法について	5
1.4 調査研究の進め方	7
1.5 研究内容と成果概要	7
1.5.1 材料選定実験	9
1.5.2 構造解析	9
1.6 検討項目	9
第 2 章 補強効果の確認実験	15
2.1 実験の目的	15
2.2 蓋状平板加圧試験装置概要	15
2.2.1 ゴムチューブおよび蓋状平板形状寸法	15
2.2.2 実験装置及び計器配置	17
2.3 材料選定検討	19
2.3.1 ゴムチューブ	19
2.3.2 充填材	23
2.3.3 間詰材	24
2.4 加水圧実験結果	25
2.4.1 加水圧過程	25
2.4.2 実験結果	26
2.4.3 加水圧実験結果のまとめ	29
2.5 充填材加加圧注入実験結果	30
2.5.1 充填材の練混ぜ	30

2.5.2	加圧注入過程	31
2.5.3	実験結果	32
2.5.4	浮上り反力の経過試算	38
2.5.5	まとめと課題	49
第3章	補強技術の成立性確認のための解析的検討	51
3.1	補強技術の成立性確認のための解析的検討ステップ	51
3.1.1	充填材加圧注入時・充填材硬化後残存圧力作用時の安全性	51
3.1.2	追加外荷重作用時の補強効果の確認	55
3.2	既設トンネルと補強リングの構造モデルの設定	56
3.2.1	既設トンネルの構造モデル	56
3.2.2	補強リングの構造モデル	58
3.2.3	検討時期毎の既設トンネルおよび補強リングのモデル化	61
3.3	補強技術の成立性の検討条件	67
3.3.1	既設トンネル仕様の設定	67
3.3.2	補強リング仕様の設定	71
3.3.3	荷重	75
3.3.4	地盤反力係数	81
3.3.5	継手ばね	81
3.3.6	充填硬化部材のモデル化	83
3.4	解析結果	84
3.4.1	解析方法と解析モデル	84
3.4.2	解析結果	89
3.5	充填材加圧注入時・充填材硬化後残存圧力作用時の安全性の検討	117
3.5.1	各部応力照査方法	117
3.5.2	各部応力照査結果	121
3.5.3	まとめと課題	130
3.6	追加外荷重作用時の補強効果の検討	131
3.6.1	荷重分担状況	131
3.6.2	まとめと課題	132
第4章	まとめおよび今後の課題	133
4.1	まとめ	133
4.2	今後の課題	133

第 1 章 調査研究の概要

1.1 背景および目的

1.1.1 背景

本調査研究は、都市部の地下に建設されている地下鉄、共同溝トンネルといった円形トンネルを対象とする。

これらの対象トンネルでは、経年変化による老朽化などが進んできており、この状況に対応すべく、特にコンクリートの剥落に対する各種の補修技術が開発されてきている。

しかし、都市再開発による外荷重変化に伴う覆工コンクリートの変状といった事案が浮かび上がってきており、上記の補修技術のみでは十分な対応が困難となる。このため、老朽化トンネルの耐力を増加させる補強技術が、都市の再生技術として今後必要な技術になってくる。

また、東日本大震災を教訓に耐震補強のさらなるグレードアップが必要とされてきつつあり、このような問題に対しては、上記の補修技術のみでは十分な対応が困難となる。

1.1.2 目的

本調査研究では補強方法として、補強が必要な既設トンネルの内側に補強リングを組立て、補強リングと既設トンネルの間に圧力を掛けて、既設トンネルを内側から外側へ押す力を与えることによって行う技術に着目して行う。なお、既設トンネルの補強を担うのは補強リングであり、注入圧力による補強の程度は、既設トンネルの状況を把握したうえで、既設トンネルの構造に支障をきたさない範囲内とする。

そこで、上記の補強技術の成立性を確認することを主眼に、材料選定室内実験によってセメントミルク硬化後の圧力残存状況を確認するとともに、既設トンネル、補強リングならびに充填材加圧力などをモデル化した構造解析によって既設トンネルに悪影響を与えない加圧力ならびに補強完了後の追加外荷重作用時の補強リングの荷重分担状況を検討するものである。

1.2 補強方法

1.2.1 現状と課題

トンネルの補強対策としては、①覆工内面に補強壁を増設して既設覆工と荷重分担を行わせること、②剛性を有する軸力部材を十字状や放射状に組立ててジャッキによって軸力を与え、既設覆工を地山側に押して支保することで、既設覆工の断面力を低下させることなどが考えられる。

しかし、①の増設補強壁では、補強時点で既設覆工に発生している断面力を直ちに軽減できる方法ではない。これに対して②の支保部材では、軸力を導入することによって、発生している断面力を直ちに低減することが可能である。ただし、トンネル内空部に支保部材を存置する必要があるため、トンネルの供用に大きな支障となる可能性が高い。

1.2.2 着眼点と補強概要

構造力学上、半径 r の円筒形部材に法線方向から等分布荷重 p が作用すると、部材には周方向に圧縮力 $N(=p \times r)$ が発生する。円筒径部材をこの圧縮力に耐え得る仕様とするこ