

トンネル補強工

はじめに

1964年の東京オリンピック開催時に整備された首都高速1号線や東海道新幹線に代表されるように、高度経済成長期に多くの社会インフラが整備されました。

そのため、これら社会インフラの老朽化が今後急速に進んでいくことが懸念されます。トンネルに関しては、現在、全国に約1万本存在するうち、建設後50年を経過するものの割合は2013年3月時点で約20%であるものの、20年後の2033年には約50%に至ると算出されています。2012年12月には、中央自動車道笹子トンネル（1977年に供用開始）にて、天井板が落下し、死亡者・負傷者が発生しました。

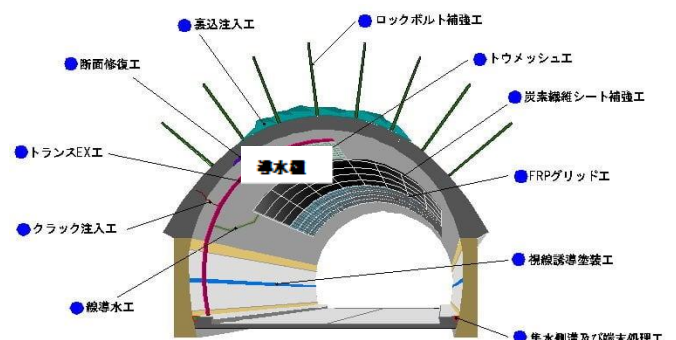
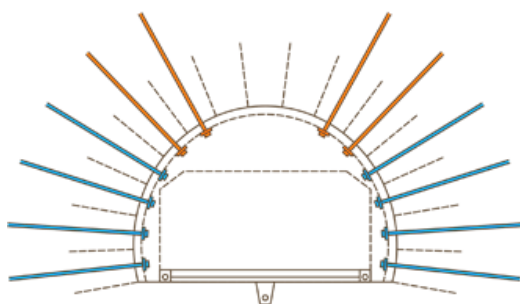
社会インフラの老朽化に対し、国民の不安が高まる中、政府は2013年11月に「インフラ長寿命化基本計画」を制定し、損傷が軽微である早期段階に予防的な修繕等を実施することで機能の保持・回復を図る「予防保全型維持管理」²⁾の導入を推進する方針を示しました。

著者らは、これまで主にトンネルの新設工事における支保工や補助工法の開発に取り組んできました。しかし、インフラの維持管理が我が国の重要な課題となります。

ロックボルト補強工

土塊のすべり面により以深に鋼材を挿入し、グラウトにより鋼材全体を定着させ、地山の変形に伴い鋼材に受動的に引張力が生じることで地山の変形ならびにすべりの発生を抑制する工法です。

従来のロックボルト施工では定着力を得にくかった砂礫地山に対して、効果的かつ経済的にロックボルト定着による覆工補強を行ないます。



トンネル覆工内巻き工

竣工後 20～30 年以上を経過するトンネルでは、覆背面の空洞、覆工コンクリートのジャンカ、コールドジョイント、巻厚不足、ひび割れなどの施工不良や劣化現象が多く見られます。それに伴い、既設トンネルの地圧対策や劣化対策として、ひび割れ注入、繊維シート補強、裏込め充てん、鋼板補強、吹付けモルタル、ロックボルト打設などのさまざまなトンネル補修・補強工法が提案・採用されています。

	無対策	内巻補強工 (場所打ちコンクリート)	補強セントル工	内面補強工	
				鋼板接着工	繊維シート補強工
破壊形態	・覆工内面（115度付近）コンクリートが圧壊し、はく落	・覆工（115度付近）がせん断破壊 ・内巻き内面が 65度、115度付近で圧壊し、はく落	・覆工外面（90～100度）コンクリートが圧壊し、はく落 ・覆工内面（65度、115度付近）コンクリートが圧壊し、はく落 ・破壊荷重以降に H 鋼が 115度付近で局所的な座屈	・覆工外面（80～90度）コンクリートが圧壊し、はく落 ・鋼板が 60～90度、100～120度の範囲ではく離	・覆工外面（90度付近）コンクリートが圧壊し、はく落 ・繊維シートが 67度、95～105度、110度の範囲ではく離
変形剛性	-	約 43%増加	約 19%増加	約 11%増加	増加しない (損傷を受けていない覆工とほぼ同じ)
破壊荷重※	0.76	1.43	1.1	1.15	ほぼ 1 (損傷を受けていない覆工とほぼ同じ)
破壊荷重決定メカニズム	-	破壊荷重は内巻き後の複合部材の破壊により決定されるため、破壊荷重の向上が期待できる	破壊荷重は覆工の再度破壊により決定されるため、破壊荷重の向上はあまり期待できない	破壊荷重は覆工の再度破壊により決定されるため、破壊荷重の向上はあまり期待できない	破壊荷重は覆工の再度破壊により決定されるため、破壊荷重の向上は期待できない

【外力対策工の効果と対策工を配した覆工の破壊メカニズム】

外力対策工の選定の考え方

今回の実験結果とこれまで現場で得られている報告から採用実績の多い変状対策工の効果とその特性をまとめると以下のようになります。

- ロックボルト：十分な定着力が確保できない土砂地山などを除けば、覆工に作用する土圧を軽減させる効果が期待できます。
- 裏込め注入工：覆工背面に空洞が存在する場合は空洞を充填することにより、覆工に荷重が作用した場合の地盤反力が確保され、覆工の耐荷力が向上します。
- インバート工：側方や底盤から作用する荷重に対しては耐荷力を向上させる効果が期待できるが、施工は容易ではありません。
- 内巻補強工：損傷が発生した覆工の耐荷力を向上させる効果があり、補強材料、厚さなどを適切に選定することにより大幅な耐荷力の向上が期待できます。ただし、施工余裕（最低

でも 50mm 以上) が無い場合は適用できません。

- 補強セントル工：損傷が発生した覆工の耐荷力を損傷が発生していない覆工と同程度まで向上させる効果が期待できるが、それ以上の効果は期待できません。ただし、内面補強工とは異なって最大耐荷力以後の靱性に優れているとともに、施工が容易であります。
- 内面補強工：損傷が発生した覆工の耐荷力を損傷が発生していない覆工と同程度まで向上させる効果が期待できるが、それ以上の効果は期待できません。また、内巻補強工とは異なって、圧縮力の作用には効果は期待できません。

また、以上のような各外力対策工の特性を踏まえ、外力の種類別に変状対策工を選定するとよいです。

	緩み土圧	膨張性土圧	偏土圧	地すべり	支持力不足
作用荷重の軽減	・ロックボルト工	・ロックボルト工 ・アンカー補強工	・ロックボルト工 ・アンカー補強工	・地すべり抑制工(水抜き工、押え盛土工等) ・地すべり抑止工(杭工、アンカー工等)	・地山注土工
トンネルの耐荷力の向上	・裏込注土工 ・(圧ざ、せん断破壊が生じている場合)内巻補強工 ・(圧ざが生じていない場合)補強セントル工、内面補強工	・裏込注土工 ・インバート補強工 ・内巻補強工	・裏込注土工 ・インバート補強工 ・(圧ざ、せん断破壊が生じている場合)内巻補強工 ・(圧ざが生じていない場合)補強セントル工、内面補強工	・裏込注土工※1 ・補強セントル工※1	・裏込注土工 ・インバート補強工

【外力の種類別の変状対策工の適用性】