

大深度地下構造物の耐久性と維持・補修技術の今後の方向性について

*The directivity of durability and technology of maintenance and repairing
in deeper underground structures*

岡嶋正樹*・池尻 健**・岡野法之***

Masaki OKAJIMA, Takeshi IKEJIRI and Noriyuki OKANO

In recent years, many construction methods have been developed with diversification of underground structures. On the other hand, by maintenance of underground structures, many investigations of deterioration are carried out and phenomena of deterioration are solved. Consequently, technology of maintenance and repairing reflected them is developing. Furthermore, in deeper underground space use which attracts attention now, the construction technology of durable underground structures and technology of maintenance and repairing under high groundwater pressure are required.

In this paper, durability of underground structures is investigated and phenomena of deterioration and required performance of the underground structure are summarized.

Key words : required performance, phenomena of deterioration, monitoring

1. はじめに

地下鉄、道路、各種ライフライン、地下街等の地下構造物は、大都市における経済・社会基盤施設として、数多く建設されてきた。さらに、既存の各種地下構造物に対する維持管理の経験が積まれると共に、維持補修技術の開発も進展しつつある。

現在では、維持管理の経験と共に、地下構造物の劣化状況の研究も進展し、研究成果を設計へフィードバックすることにより地下構造物の耐久性も向上しつつある。また各種地下構造物の維持管理を通してライフサイクルコスト（LCC）分析も行われ始め、地下構造物の予防保全、延命化技術も進展しつつあり、施設更新を迎えた地下構造物では、改築等の再生手法と廃棄する手法等の検討事例も見られるようになってきた。

一方、平成13年4月に「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」が施行されたことから、今後、40m以深の大深度地下の利用が、より進展してゆく可能性がうかがえる。大深度地下の利用に際しては、その廃棄・改築等に対する手間が浅深度の場合より大きいと予測されることから、より耐久性のある地下構造物の構築技術とともに、高地下水圧下での維持補修技術の開発が求められる。

本文は、土木学会 地下空間研究委員会 維持・再生小委員会の研究活動の一環として、既存の地下構造物の耐久性の調査、地下構造物の劣化要因と要求性能に関する調査、維持・補修技術の現状についての調査を行い、大深度地下構造物の維持・補修技術の方向性について考察を行ったものである。

キーワード：要求性能、劣化現象、モニタリング

* 正会員 パシフィックコンサルタンツ 株式会社 交通技術本部 トンネル部

** 正会員 株式会社 セントラル技研 地盤技術管理部

*** 正会員 財団法人 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部

2. 既存のトンネルの耐久性

近代日本のトンネル史上初めて完成したトンネルは、1871年（明治4年）に完成した長さ約60mの石屋川隧道とされる。このトンネルは現存していないが、これ以降、鉄道や水路トンネル等の各種の地下構造物が次々と造られ、100年を経て現在に至るも使用されているトンネルが幾本もある。（図－1）

各種トンネルの供用延長と長期間使用しているトンネルの割合等を表－1に示す。表のように導水路トンネル、鉄道トンネルで50%以上、道路トンネルにおいても20%が、50年を経過し使用されている。



図－1 大沙川隧道(1877年建設)¹⁾

表－1 トンネルの供用延長と長期間使用トンネルの割合 ¹⁾を基に作成

分野	供用延長	長期間使用しているトンネル	調査時点
道路トンネル	約2,200Km	・1950年以前に供用されたトンネルが約20%存在 ・1970年以前に供用されたトンネルは約50%	1995年現在
鉄道トンネル (JR全体)	約2,100Km	・約50%が戦前に建設された ・100年以上経たトンネルが20本以上存在	1994年現在
水路トンネル	約4,700Km	・建設後50年を経過したものが約55%	1997年現在
下水道トンネル (東京都区部)	約15,000Km	・建設後50年を経過したものが約13%	1997年現在

3. 地下構造物劣化状況と要求性能

前記のように、多数のトンネルが長期間にわたって使用され続けている。これらのトンネルが長寿命である理由として、建設時の技術・使用材料品質等の優位性と併せて、維持・補修技術の進展も大きな要因と考えられる。そこで、以下では、地下構造物の劣化要因についての調査結果を示した後、劣化現象が地下構造物の要求性能に与える影響について整理する。

3.1 地下構造物の劣化要因

文献調査等による各地下構造物の劣化現象を整理すると地下構造物の劣化現象は、表－2のような変状現象となって現れているようである。また、変状現象を「外力による変状」「材質劣化による変状」「漏水」および「その他」に分類し、それぞれに対する原因について表－3にまとめる。

表－2 地下構造物の主な変状現象 ^{2) 3)}を基に作成

地下構造物	変状現象	
山岳トンネル	覆工	ひび割れ・目地切れ・食い違い、剥離・剥落、変形、側壁の沈下、漏水、つらら・側氷、土砂流入、材料の劣化
	路盤	軌道狂い、コンクリート盤のひび割れ・変形、中央通路のひび割れ・変形、路盤の隆起・沈下、噴泥
シールドトンネル	ひび割れ、漏水、剥離・剥落、鉄筋の露出・腐食、鋼鉄製セグメントの腐食、継手金具・ボルトの腐食、止水材の劣化、材料劣化	
開削トンネル	ひび割れ、漏水、剥離・剥落、鉄筋の露出・腐食、材料劣化	

3.2 劣化現象が要求性能に与える影響

過去に調査・報告されている、既設地下構造物における劣化現象が要求性能に与える影響を評価した。対象とする地下構造物は、山岳トンネル（道路・鉄道）、シールドトンネルおよび開削トンネルを取り上げた。ここで対象とする主な要求性能を表－4に示す。

表－3 変状の原因

変状の原因	変 状 現 象
緩み土圧	鉛直圧を主体とするため、アーチの天端にトンネル縦断方向の開口性ひび割れを生じるものが多い。
突発性の崩壊	トンネル上部の空隙の岩塊が何らかの理由で分離し落下し、覆工に衝突する。覆工の強度が十分でなければ覆工を破壊し、岩塊もろともトンネル内へ落下する崩壊をいう。
偏土圧	斜面下や、傾斜した片理や直行方向に緩みが生じて偏土圧が作用し、トンネルが変状するものである。
地すべり	地すべりによる変状は、トンネルとすべり面の位置関係により変状の発生形態が異なる。
膨張性土圧	膨張性土圧による変状では、左右の側壁あるいはアーチの両肩に、複雑な水平ひび割れが生じやすく、アーチと側壁間に打継目がある場合には段差が生じることがある。
支持力不足	支持力の不足は、縦断的、あるいは横断的なトンネルの不同沈下を起こす。。前者の場合、輪切り方向のひび割れが生じ、また、後者の場合はトンネル軸の回転を伴い、斜め方向のひび割れを生じる。
水圧・凍上圧	トンネル場合は通常、側圧が卓越し、側壁あるいはアーチ肩部の水平ひび割れが生じることが多い。
経年劣化	ここでの経年劣化はコンクリートの中性化を主たる内容とする。
凍害	寒冷地のトンネルでは、凍害は劣化要因の中で最も問題となることが多い。
塩害	コンクリート中の鋼材腐食、海水とコンクリートの反応によるコンクリートの多孔質化などがある。
有害水	地下水には、火山地帯に見られる強酸性水などのように、石工にとって有害成分を含むものがある。
使用材料および施工方法	発生時期は早期なものが多い。使用材料の不適切な選定による強度不足やセメントの水和熱による温度変化とそれに伴う体積変化および、硬化収縮に伴うひび割れ等が考えられる。
鋼材腐食	腐食・体積膨張による、ひび割れおよび鋼材断面の減少・耐力低下を生じる可能性がある。
アルカリ骨材反応	これまでのところアルカリ骨材反応による変状事例は少ない。
火 災	力学的性質の低下、コンクリート表面および内部での爆裂現象、剥離およびひび割れ・その他煙害が挙げられるが、これによる直接的変状の例は少ない。
漏 水	外力による変状の原因にもなるが、それ以外にも漏水が構造物の劣化促進となる場合がある
背面の空隙	地山を緩め、土圧を増加させるうえ、受動土圧の発生を阻害し、覆工の相対的な構造強度低下の原因となる。
巻厚	設計巻厚が小さいことにより想定される土圧が作用しても変状が発生する場合がある。
インバートなし	施工時には安定が得られたトンネルにおいて、施工後なんらかの要因により土圧が増大し、インバートを設置していないことにより変状が発生することがある。

表－4 主な要求性能 4)

性能の種類	具体的な内容
安全性能	耐荷性（含耐震性能）、その他の安全性（構造物の転倒や滑動）
使用性能	使用性（変形・振動・防水性等）、機能性（供用における満足度）
第三者影響度に 関する性能	構造物の一部が落下することによって構造物の下の人やものに危害を加える可能性（コンクリート片落下の防止等）
美観・景観	ひび割れ、錆汁等による汚れの防止
耐久性能	供用期間中、要求性能を満足する性能

表－5 劣化現象が要求性能に与える影響（山岳トンネル）

(1) 山岳トンネル

山岳トンネルにおける劣化現象がそれらの要求性能に与える影響について、表－5にまとめる。尚、同表において、○は各要求性能に影響を与えるものを示す（以下の表－6～表－8においても同様）。右表より、以下のことがわかる。

・山岳トンネルにおける劣化現象の大部分が「使用性能」に影響を与えている。

・漏水はそれ自体が要求性能に影響を与えるだけでなく、材料劣化等その他の劣化現象の要因にもなる。

・「美観景観」においては、供用する対象により劣化

現象の与える影響度大きく異なる。（以下のシールドトンネルおよび開削トンネルについても同様）

・ひび割れに関しては、第三者影響度を除く全ての要求性能に影響を与える。

劣化現象	安全	使用	第三者 影響度	美観 景観	耐久 性
ひび割れ	○	○		○	○
剥離・剥落			○		○
変形	○	○			
側壁の沈下	○	○			
漏水		○			○
土砂流入		○		○	
つらら・側氷		○		○	○
材料劣化	○				○
軌道狂い		○			
路盤の隆起・沈下	○	○		○	
噴泥		○		○	

表－6 劣化現象が要求性能に与える影響
(シールドトンネル)

劣化現象	安全	使用	第三者 影響度	美観 景観	耐久性
漏水		○		○	○
ひび割れ	○	○		○	○
剥離・剥落			○		○
鉄筋の露出・腐食	○				○
鋼鉄製セグメントの腐食	○				○
継手金具・ボルトの腐食	○				○
止水材の劣化		○			○
材料劣化	○				○

(2) シールドトンネル

シールドトンネルにおける劣化現象がそれらの要求性能に与える影響について、表－6にまとめる。同表より、シールドトンネルにおける劣化現象の特徴としては、鉄筋、鋼鉄製セグメント、セグメント継手ボルト等の金属の腐食による劣化に関するものが多いことが分かる。

また、その他の項目も覆工体（セグメントおよび二次覆工）の劣化に関するものであることから、劣化現象が影響を与える要求性能としては、「耐久性性能」に関するもの割合が多くなっている。さらに、土砂地山を掘削対象とすることの多いシールドトンネルでは、漏水に対しての適切な対策に留意する必要がある。

(3) 開削トンネル

開削トンネルにおける劣化現象がそれらの要求性能に与える影響について、表－7にまとめる。同表より、劣化現象は主に鉄筋コンクリートの劣化であり、それらは鉄筋コンクリートの耐久性に影響を与えている。

3.3 地下構造物建設へのフィードバック

現状では、上記で検討した要求性能に影響を与える劣化現象の対策を通じて得られた様々な知見が、合理的にフィードバックされている。前記の検討結果から整理した、山岳トンネル、シールドトンネル、開削トンネル各々の劣化現象に対してフィードバックされた「設計・施工に関する主な検討事項」を表－8～表－10に示す。

表－7 劣化現象が要求性能に与える影響
(開削トンネル)

劣化現象	安全	使用	第三者 影響度	美観 景観	耐久性
漏水		○		○	○
ひび割れ	○	○		○	○
剥離・剥落			○		○
鉄筋の露出・腐食	○				○
材料劣化	○				○

表－8 設計・施工に関する主な検討事項(山岳トンネル)

劣化現象	フィードバックにおける検討事項
ひび割れ	覆工形状および覆工厚・支保工 抱き擁壁による偏圧対策・断熱工
	アーチ背面および側壁部の空隙解消・巻厚確保 コールドジョイント・コンクリート配合（W/C）
変形	覆工形状および覆工厚・支保工 抱き擁壁による偏圧対策
	アーチ背面および側壁部の空隙・巻厚不足
側壁の沈下	インパートの設置
軌道狂い	
土砂流入	
路盤の隆起・沈下	
噴泥	巻厚不足・コールドジョイント コンクリート配合（W/C）
剥離・剥落	
漏水	排水工および防水工 アイソレーションシート厚
つらら・側氷	断熱工

表－9 設計・施工に関する主な検討事項(シールドトンネル)

劣化現象	フィードバックにおける検討事項
漏水	二次覆工・セグメント継手の止水性向上 継手金具およびボルトの防食 周辺の地下水位上昇リスク対応
	裏込め注入、シール、セグメントの組立て精度
ひび割れ	二次覆工・リング剛性・周辺の地下水位上昇
	セグメントの組立て精度
剥離・剥落	セグメントの組立て精度、セグメントの製造方法
鉄筋の露出・腐食	二次覆工 セグメントの製造方法
鋼鉄製セグメントの腐食	鋼鉄製セグメントの防食
継手金具・ボルトの腐食	使用材料漏水 継手金具およびボルトの防食 セグメント継手の止水
変形つらら・側氷	リング剛性
	地山の安定掘削、セグメント組立て精度、裏込め注入

表－10 設計・施工に関する主な検討事項(開削トンネル)

劣化現象	フィードバックによる検討事項
鉄筋の露出・腐食	かぶり厚さの確保
ひび割れ	線路方向の躯体剛性の向上
	生コン打設方法・コンクリート
剥離・剥落	生コン打設方法・コンクリート
	鉄筋のかぶり
漏水	ひび割れ防止および確実な止水工
	防水工

3.4 その他の要求性能

これまで検討した要求性能以外に考えられる、地下構造物特有の要求性能を表－１１に整理する。

表－１１その他の要求性能

要求性能	概要説明
修復性能	安全性能および使用性能が損なわれた場合の損傷の修復が容易である。
耐腐食性能	排気ガス、硫化水素等の化学的な腐食に耐えることができる。
快適性能	人間に閉鎖感や圧迫感をいだかせない。また、時間感覚や方向感覚を欠如させない。
耐火性能	列車および車の火災に耐えることができる。
環境負荷と社会的要請に対応する性能	得られる便益に対し環境負荷が小さく、LCCが経済的である。また、地下構造物は一度建設すると再構築が困難である。

4. 維持管理におけるモニタリング技術および補修・補強技術

前章までの整理から、地下構造物の劣化現象は以下のような「変状現象」となって現れているようである。

- ①覆工のひび割れ、うき、はく離、はく落、②覆工の変形、沈下、移動、
- ③打継目の目地切れ、幅の拡大、段差、④覆工の材質劣化、
- ⑤供用部の基盤（路面路肩等）におけるひび割れ、盤ぶくれ、
- ⑥漏水（壁水、つらら）、石灰の析出、滞水、沈砂、⑦その他

ここでは、上記の変状現象のモニタリング技術として「トンネル内空変位測定」「クラック測定」「作用する荷重等の計測」について述べると共に、主要なトンネル補修技術である「覆工のひび割れ、うき、はく離、はく落」に対する補修技術の最近の動向についても述べる。

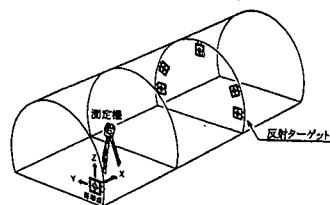
4.1 最近のモニタリング技術

(1) トンネル内空変位測定

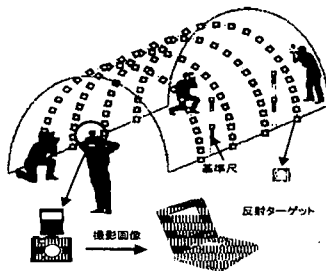
通常、トンネル内空変位は、内空変位計によって計測する。しかし、最近では、光波測距儀に角度測定機能を組合せたトータルステーションと呼ばれる測定機器を使用したシステムも利用されている。さらに、近年ではデジタル画像計測法を応用する研究が進められている。この計測法は、長さの基準となる点を含んだ箇所に反射ターゲットを予めセットし複数の位置からの撮影画像を解析して測定点（ターゲット）の座標を計算するものである。計測イメージを図－２、３に示す。このような計測方法が実用化されれば、トンネル内での作業がデジタルカメラによる写真撮影のみで済み、かなりの省力化が図れる。その他、最近では光ファイバーを用いたトンネル覆工の変位計測システムも開発・実用化が進んでいる。

(2) クラック測定

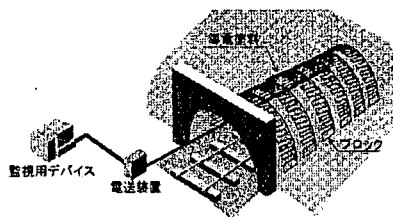
クラック観察により、荷重のかかり方、変状の進行状況、変状原因をある程度推定することが可能となる。クラックの発生、その進行性を導電塗料を用いて、常時検知する安価なシステムが研究・開発されている。これは、導電性塗料をトンネル覆工面に塗布し、クラックの発生と進行により、導電塗料が切断されると導電性が損なわれることを利用したシステムである。システム構成のイメージを図－４に示す。また、最近では発電水路トンネルを対象に「ひび割れ深さ」を正確に測定することにより、変状の進行性を評価するモニタリング手法も試みられている⁷⁾。



図－２ 三次元トンネル内空変位計測システムの例 3)



図－３ トンネル計測のイメージ 5)



図－４ ひび割れ検知システムのイメージ 6)

(3) トンネルに作用する荷重等の計測

上記以外に、土圧や水圧等、覆工に作用する荷重のモニタリングがある。特に水圧については、トンネル内への漏水やトンネルの変形等に直接的な影響を及ぼすことから、重要なモニタリング項目であるといえる。さらに、都市部においては、地下水の揚水規制による水位上昇が、地下構造物に影響を及ぼすことも報告されていることから、地下水のモニタリングが重要であるといえる。その一例として、東北・上越新幹線の上野地下駅の例が挙げられる。

この地下駅は深さ約 30m の 4 層 6 径間ボックスラーメン構造の大規模地下構造物であるが、地下水の揚水規制に伴い、地下水位が上昇し、浮力による躯体の浮き上がりが問題となった。そこで、JR 東日本は観測井戸と水圧計を新たに設置し、モニタリングを行った。水圧計は下床版直下における水圧を把握するために下床版を削孔し、図-5 に示す圧力ゲージを取付けた。モニタリングの結果、平成 8 年 3 月の時点で、約 0.15MPa の揚圧力が下床版に作用していることが確認され、浮力対策として、鉄塊によるカウンターウェイトの载荷が採用された。

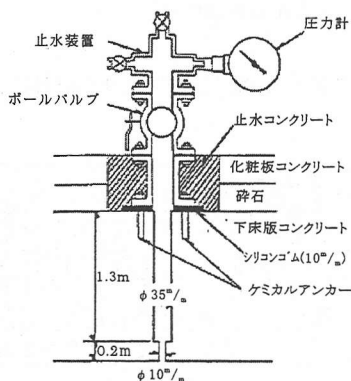


図-5 水圧計の構造 1)

4.2 最近の補修・補強技術

最近の補修・補強技術の例として、ひび割れ対策技術と繊維シート等を覆工に接着させる内面補強工について述べる。

(1) ひび割れ対策技術（ひび割れ注入）

ひび割れ注入は、インジェクターによりグラウト材料をひび割れに注入し、コンクリートを一体化するものである。ひび割れ注入の施工実施例を図-6 に示す。このひび割れ注入の短所は、どの材料を用いても 0.2mm 以下の微細なひび割れに対しての注入が困難なことである。そこで、最近では、エポキシ樹脂をローラー等で塗布する工法も開発されてきている。

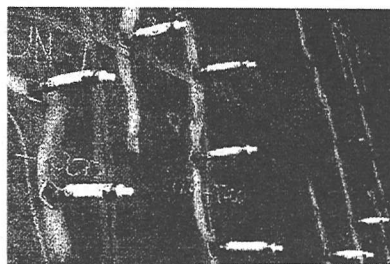


図-6 ひび割れ注入の施工状況 3)

(2) 内面補強工

内面補強工は地圧を受けて変状した覆工や材料劣化した覆工に、繊維シートや鋼板を接着し、トンネル覆工の耐力を向上させる工法である(図-7、図-8)。近年はアラミド繊維、炭素繊維、ガラス繊維等による繊維シートの接着工法の事例も多くなってきている。繊維シート接着工法は、内空断面の減少がほとんどないという長所を持っており、剥落対策のための補修にも用いられている。

一方、鋼板接着工法は繊維シート接着工法に比べ大きな補強効果を期待できるが、鋼板は重いので施工性が悪い、対策後の覆工の目視検査が行えない等の短所を有する。

最近では、炭素繊維シートを内蔵した成形パネル板等を接着剤およびアンカーで固定する工法(補強対策工)や不織布やビニロンシートを吹付けモルタルで貼り付け、アンカーピンで固定する工法(剥落対策工)等が開発されてきている。

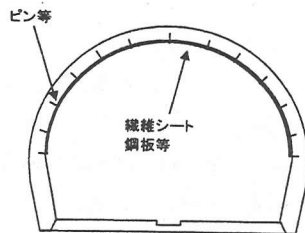


図-7 内面補強工の概要 3)

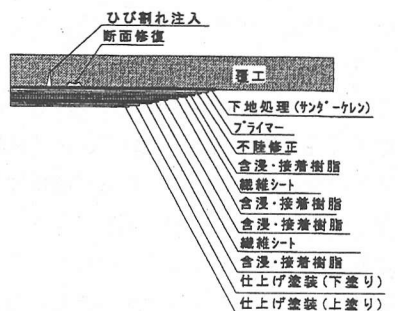


図-8 繊維シート接着工法の断面 3)

5. 大深度地下構造物の維持・補修技術の方向性

5.1 大深度地下における維持・管理の特徴

大深度地下構造物では、制度上の対象範囲を度外視したとしても、その必要性等から主に3大都市圏での建設が予想されるので、表-12に示す特徴を列举できる。

表-12 大深度地下における維持・管理の特徴

- | |
|--|
| a. 恒常的に地下水位を低下させることが難しいので、常に大きな水圧の作用を考慮しなければならないこと |
| b. 複合利用により、従来なかった組合せの施設で共同利用が行われ、劣化現象をより複雑化する可能性のあること |
| c. 民地も含めた地表への影響や施設供用後の利用頻度の高さ、大深度での作業環境等を考慮すると廃棄、再構築の選択性は小さいこと |
| d. 都市施設であり、供用後の利用頻度の高さにより、維持管理作業自体も制限されること (ex. 都市内道路であれば、常に交通量が多く、長期間の維持補修作業がしにくい等) |

上記より、大深度地下構造物では特に、メンテナンスフリー的な性能が求められると考えられる。しかし、材料の特性や、事故のリスク等により、完全なメンテナンスフリー構造物は実現困難な状況にあることから、当面はより大きな耐久性の確保と、効率的な、維持管理のための技術開発が目標となると考えられる。

5.2 大深度地下構造物の維持管理の技術的な課題点

以上の事情から、大深度地下構造物においては、躯体構造物の耐久性を高めるとともに、効果的かつ経済的に効率性の高い維持・補修を実現することが求められる。このためには、施設の計画・設計段階から、施工段階、供用段階、再生段階まで一貫した、維持管理への対応が求められる。

以下に施工段階、供用段階、再生の各段階における課題について記すと共に、それぞれの具体策として考えられるものの例を表-13に示す。

(1) 設計段階

コンクリート等の材料そのものの改良による耐久性の向上、設計部材厚を大きめにとつての耐久性の向上等について技術開発を行うことが必要である。その際、どの程度までの耐久性の向上を見込むのか等についての検討も併せて必要になると考えられることから、技術課題として以下があげられる。

- ① 躯体構造部材の耐久性の向上、
- ② LCCを考慮した設計手法の開発

(2) 施工段階

設計で規定された性能を確実に保証できる施工を行うために、施工の確実性と施工品質の確保（材料の施工中の破損等がないこと）が必要となると考えられることから、技術課題として以下があげられる。

- ① 躯体構造の劣化・損傷が発生しにくい施工技術の開発

(3) 供用段階

供用後は、適当な頻度のリスク(地震、火災等)を見込んだ上で、ライフサイクルコストを検討し、適切な維持・補修の予測を行い、これと、現実の維持・補修結果のフィードバックを検討して、効率的な維持・補修を実施することが必要となると考えられることから、技術課題として以下があげられる。

- ① 維持管理に必要なライフサイクルコストを考慮した維持・補修評価システムの開発
- ② 躯体調査技術と、その結果に基づいた確実な診断・補修技術の開発

表-13 技術開発項目の例

	対象構造物	検討項目	具体項目
躯体構造部材の耐久性を向上させる技術の開発	コンクリート一般 ⇒シールドセグメント ⇒NATM 覆工体 ⇒開削躯体	引張強度の高い(ひび割れの発生しにくい)コンクリートの開発	☞ SFRC 等の混入による性能向上 ☞ 合成構造の採用検討(NMセグメント等) ☞ レジン等新規材料の使用 ☞ 設計断面厚の増加(基準強度の設定)
	NATMの鋼製支保工、ロックボルト等	鋼製材料の防錆、防蝕	☞ 防錆塗布材の検討 ☞ 錆や腐食に強い新規材料の検討
	開削トンネル	連壁コンクリートの止水性向上	☞ ベントナイト安定液中でのコンクリート品質の向上
LCCを考慮した設計手法の開発	シールドセグメント、NATMの支保工と覆工体、開削躯体	・ 既存地下構造物における事例調査(フィードバック) ・ 合理的な設計基準の検討	☞ 使用用途、構造物毎(トンネル工法毎)の、LCCの検討 ☞ 施設建設のトータルコストの検討
必要な耐久性の設定に基づく設計・施工技術の開発	シールドトンネル	・ 一次覆工の止水性バックアップ技術 ・ 二次覆工完全充填技術 ・ セグメント破損防止技術	☞ 裏込注入材料の開発 ☞ 二次覆工用防水シートの検討 ☞ 一次覆工内外防水工の検討 ☞ 二次覆工材料の開発 ☞ 充填管理技術の開発 ☞ 方向制御、組立て技術の検討
	NATMトンネル	・ 施工時の一次支保工の変形防止技術 ・ 二次覆工の完全充填技術	☞ 的確な補助工法の検討 ☞ 施工時の排水施工を可能とする確実なリチャージ技術等の地下水対策技術の開発。
	開削躯体トンネル	・ 本体利用連壁の品質向上	☞ 連壁施工精度の向上化技術の開発 ☞ ベントナイト泥水以外の安定液の開発 ☞ 連壁以外の施工技術の検討
維持管理に必要なLCCを考慮した維持・補修評価システムの開発	シールドトンネル NATMトンネル 開削躯体トンネル	・ 個別の施設における要求性能の整理 ・ 躯体調査技術と、その結果に基づいた補修技術 ・ 維持・補修評価基準	☞ 初期(建設)コストの整理とライフサイクルコストの検討 ☞ 初期投資とLCCを考慮した要求性能の絞り込み ☞ 大深度環境に対応した確実な計測、観測の検討 ☞ 周辺環境および躯体状況を容易かつ確実にモニタリングする技術の検討

6. おわりに

本文では、主に文献調査によりデータを収集し、地下構造物の耐久性を調査し、その劣化要因と要求性能に関してとりまとめ、大深度地下構造物の維持・補修技術の方向性について考察した。今後は、既設地下構造物の施設管理者の協力を得て、各施設ごとの維持管理上のデータを総括して収集分析し、より詳細で具体的な技術開発課題抽出へと発展すべきと考える。

最後に本報告をまとめるにあたり、貴重な資料のご提供およびご助言を頂きました土木学会 地下空間研究委員会 維持・再生小委員会の竹林 前委員長をはじめ、委員の皆様にご感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 平成13年度大深度地下利用に関する技術開発ビジョンの検討に関する調査(長期耐久性部門)報告書
平成14年3月、国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室
- 2) 池尻 健・岡嶋正樹・岡野法之：劣化現象に着目した地下構造物の要求性能に関する一考察，地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol.7，pp.309-16，2002.
- 3) (財)鉄道総合技術研究所：トンネル保守マニュアル(案)，2000.
- 4) コンクリート標準示方書[維持管理編]，土木学会，2001.
- 5) デジタル画像計測法のトンネル内空変位計測への応用、三浦、山本ら、土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，2001.
- 6) (財)鉄道総合技術研究所パンフレット
- 7) 池尻 健・江川顕一郎・峯村一夫・大久保晴司：延長10km 発電用水路トンネルの安全診断の試案、第11回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，2002.
- 8) 岡野法之・岡嶋正樹・池尻 健：大深度地下構造物の要求性能に関する一考察，土木学会第56回年次学術講演会講演概要集，2001.