

シールドトンネルのライフサイクルコストに関する基礎的研究

前田建設工業（株）正会員 ○宮澤 昌弘
同 上 一原 正道
同 上 正会員 北川 滋樹

1．はじめに

近年，土木分野においても構造物の建設行為に対して，初期建設費だけでなく維持管理費，解体撤去費等まで含めたトータルコストにより経済性を評価するライフサイクルコスト（以下，LCC と記す）に関する研究が活発に行われている．これは，コンクリート標準示方書の改訂に代表されるように，土木分野の示方書・基準類が「仕様規定型」から「性能照査型」へと移行する中で，構造物の耐久性能を定量的に評価すること，すなわち構造物の寿命を考慮することが重要な課題であると考えられるからである．

本研究では，シールドトンネルの LCC 算定手法の構築を目的として，シールドトンネルの劣化について要因・対策を定量的に評価する手法を提案し，この手法に基づいて劣化の経年変化の推定とそれに関する費用の算定を試みた．本稿ではその一部として，シールドトンネルの LCC の基本的な考え方と，漏水による劣化を中心に報告する．

2．LCC 算定における基本的な考え方

本研究では，LCC の算定フローを図-1 に示すような概念で考える．これを数式で表すと，式（1）のように示することができる．

$$LCC = C_i + C_d + C_m + C_r + C_f$$
 (1)

ここで，LCC：ライフサイクルコスト， C_i ：初期建設費， C_d ：運用費， C_m ：維持管理費， C_r ：リスク費， C_f ：解体撤去費

すなわち，土木構造物の初期建設から解体撤去に至るまでの各過程に要する費用に，リスクに関する費用を加えた総額を LCC とし，その構造物による波及効果としてのストック価値や経済的損失については本研究では LCC には含めないものとした．また，解体撤去費については，一般にシールドトンネルの解体撤去は難しいこと，解体撤去の事例も少ないことから，本研究では今後の課題とした．

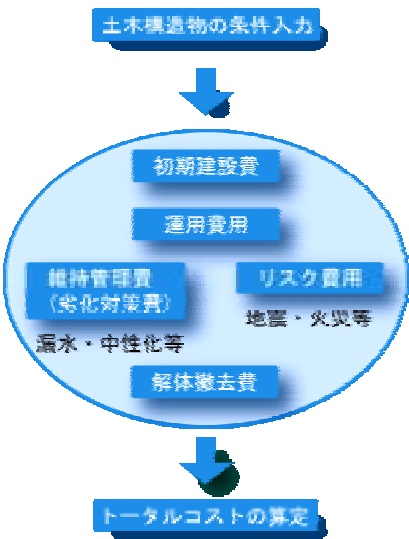


図-1 LCC 算定フローの概念

3．シールドトンネルの劣化について

シールドトンネルの劣化は，次のように分類できる．通常の使用状況による経年的な劣化（漏水，覆工本体・継手金物などの材料の腐食など）発生確率が小さいリスクの被災による劣化（地震，火災など）

これら同じ項目の劣化であっても，表-1 に示すようにトンネルの用途によって，劣化の状況，発生の可能性と重要性が異なる．そのため，補修方法などの対策も異なることから，LCC の算定はトンネルの用途を考慮して行う必要がある．

表-1 トンネル用途別の劣化の比較

項 目	道路トンネル	下水道トンネル
漏水	・ 水が車や道路に落ち，安全面で問題がある ・ 腐食などの要因となる上，見栄えが悪い ・ 排水に要する費用が高額となる	・ 腐食などの要因となる上，見栄えが悪い ・ 漏水により設計流下能力を満足しない
コンクリートの中性化	・ 車の排気ガス，トンネル内の湿潤により中性化が促進される ・ 中性化により鉄筋腐食が進行する	・ トンネル内が湿潤であり中性化が促進される ・ 中性化により鉄筋腐食が進行する
酸による浸食	・ 一般には発生しない	・ 下水道内で発生する硫化水素による酸腐食
地震	・ 通常状態でトンネル内に人がいるため，地震発生時での安全性を優先させる必要がある	・ 通常ではトンネル内に人がいないが，地震動レベルに応じて耐震性能を確保する必要がある
トンネル火災	・ 火災の熱により，覆工が損傷し，場合によっては構造系が崩壊する可能性がある	・ 火災の可能性はほとんどない

キーワード：シールドトンネル，LCC，劣化，リスク，漏水

連絡先：前田建設工業（株）土木本部 土木部 東京都千代田区富士見 2-10-26 TEL03-5276-9472

4. 漏水の要因・対策の定量的評価手法と漏水量の推定式の提案

シールドトンネルの劣化の中で、漏水が最大の課題である。しかし、公表される漏水量のデータは少なく、漏水量を推定すること、漏水の要因の特定と対策の評価をすることは難しい。

本研究では、近年のシールドトンネルでは水膨張シールド材の使用が一般的となっているため、時間が経過するにしたがい、セグメント継手面での漏水から覆工本体等の劣化箇所での漏水に移行すると考えて、式(2)に示すような経過時間に対する漏水量の推定式を提案した。

$$q = a \sqrt{t} + q_0 \quad (2) \quad \text{ここで、} q: \text{漏水量}, a: \text{漏水係数}, t: \text{経過時間}, q_0: \text{初期漏水量}$$

式(2)における漏水係数の算定については、表-2に示すように、パネル法によって漏水の要因・対策を抽出して重要度に応じて定量的な評価を行い、その評価点と漏水量の数少ない公表データからモンテカルロ・シミュレーションにより統計的推測により求める手法を提案した。

表-2 漏水対策の定量的評価の例

項 目	対策の有無	備 考	重要度
セグメント 本体	コンクリート配合1(水セメント比:水密コンクリート)	1 0:配慮しない, 1:配慮する(W/C 55%)	3
	コンクリート配合2(混和材)	0 0:配慮しない(普通ポルトランドセメント), 1:配慮する(高炉スラグ等)	2
	ひび割れ対策(許容ひび割れ幅照査)	0 0:配慮しない, 1:配慮する	2
	施工時における本体ひび割れの大小(急曲線の多少で評価)	1 0:ひび割れ発生の可能性が高い(急曲線が多い), 1:普通, 2:ひび割れ発生の可能性が低い(急曲線が少ない)	3
	グラウトホール・把持専用部	0 0:特に配慮なし(全て貫通型), 1:配慮あり(把持専用部は非貫通型)	1
継手面	横断面の真円度(セグメント継手構造による目開き)	1 0:真円度が低い(目開きが大きい), 1:普通(ボルト式), 2:真円度が高い(目開きが小さい)	3
	施工時におけるリング継手の目違い(急曲線の多少で評価)	1 0:目違い発生の可能性が高い(急曲線が多い), 1:普通, 2:目違い発生の可能性が低い(急曲線が少ない)	3
	シールド材の配置方法	0 0:一重配置, 1:二重配置・ウォーターバリア方式	3
	シールド材の種類	0 0:ガスカート型・他, 1:水膨張型, 2:複合型	5
二次覆工	二次覆工設置	1 0:配置しない, 1:配置する	10
	ひび割れ対策(許容ひび割れ幅照査)	0 0:配慮しない(無筋など), 1:配慮する	2
裏込め材	裏込め注入	1 1:注入する	3
	裏込め材の劣化の可能性・充填度合い	1 特殊な環境下や土質条件から, 0:劣化可能性大or充填度合い低い, 1:劣化可能性小or充填度合い高い	1
防水シート	防水シートを配置する	0 0:配置しない, 1:配置する(導水型・完全防水型)	5

5. 漏水量と対策費の試算例

外径φ13.40m、延長2kmの道路トンネルを対象に漏水量とその維持管理費の経年変化について、二次覆工の有無の2ケースについて試算した例を紹介する。提案した手法で求めると漏水量の推定式は式(3)、(4)となり、漏水量の経年変化を比較すると図-2のようになる。

$$\text{二次覆工省略} \quad q = 0.0652 \sqrt{t} \quad (l/min/m^2/100m) \quad (3)$$

$$\text{二次覆工あり} \quad q = 0.0136 \sqrt{t} \quad (l/min/m^2/100m) \quad (4)$$

また、漏水に対して補修を行わないとして試算すると、建設100年後で二次覆工を省略した場合の漏水対策費の累計は約70億円となり、二次覆工を施した場合の累計約17億円を大きく上回る結果となった。

6. おわりに

シールドトンネルにおける漏水の要因・対策の定量的評価手法と漏水量の推定式を提案し、その手法によって漏水量の経年変化と漏水対策費の試算例の一部を報告した。本研究では他にも、中性化などの劣化や、図-3に示すような地震リスクに関しても研究を行っている。今後、これらをまとめて、シールドトンネルのLCC算定手法として提案し、報告したい。

[参考文献] 土木学会：2001年度制定コンクリート標準示方書[維持管理編]

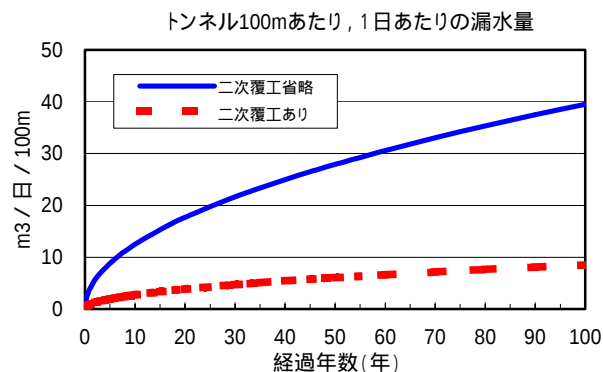


図-2 二次覆工の有無による漏水量の比較

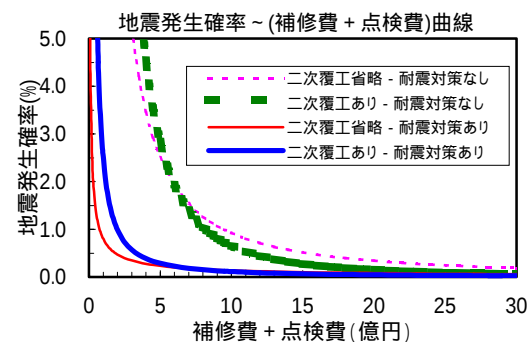


図-3 地震リスクカーブの例