

トンネル構造物のライフ・サイクル・デザイン手法の構築(1)

金沢工業大学大学院	○学生員	水谷	進悟
パシフィックコンサルタンツ	正会員	清水	幸範
金沢工業大学	正会員	木村	定雄

1. はじめに

トンネル構造物の設計法では、その建設当初に計画する耐用期間において、破壊に対する安全性と使用目的に応じた機能性とを確保できるように設計することが基本である。この基本的な考えは、設計法が許容応力度設計法であっても、また最近導入されつつある限界状態設計法¹⁾や信頼性設計法²⁾であっても、いずれに依ろうと変わらない基本条件であると考ええる。

一般に数十年以上の長期間に亘って、トンネル構造物はその用途に供する。その長期的な供用期間中には、外部環境が変化し、構造物には様々な外的要因が作用する。このため、トンネル構造物はその影響を受ける。

したがって、単にトンネル構造物の耐久性能を低下させる環境要因のみを外部環境として位置づけるのではなく、技術革新や経済情勢・需要変動などの建設当初に設定した機能を変える要因をも外部環境として広義にそれを解釈する必要がある。

一方、前述したような設計法は構造物の建設段階のみに実施するとした設計法であることから、トンネルが将来に亘って受ける環境変化による影響を、どの時期にどのようにして構造物の設計にとり入れるかが明確にされていない。このことは、現状のトンネル構造物の修復計画に適切な設計を行うことを困難にしている一因になっているものと考ええる。

そこで、筆者らはトンネル構造物の新しい設計法として、ライフ・サイクル・デザイン(LCD: Life Cycle Design)手法の概念を提案する。LCD とは建設当初のみならず、トンネルの供用過程の中で変化する環境要因の影響(作用)を合理的にとり入れ、それによって変動する機能や要求性能を適宜見直し、構造物の維持・修復計画に反映するための長期性能評価を構造物の供用中に継続して行う継続的設計法である。本報告はトンネル構造物の LCD 手法を構築することを目的として、シールドトンネルを例にとり、その基本的な検討結果を

示したものである.

2. LCD のトリレンマと各 Phase の相互関連

LCD 手法を構築するにあたっては、経時的に変動する要因および性能評価を行うための指標とそれらの相互関係を明確にする必要がある。そこでまず、これらの要因や指標を、外部環境、機能および性能の Phase に大別して整理した。図 1 はこれらの Phase の相互関係を示したものであり、これを LCD のトリレンマと呼ぶ

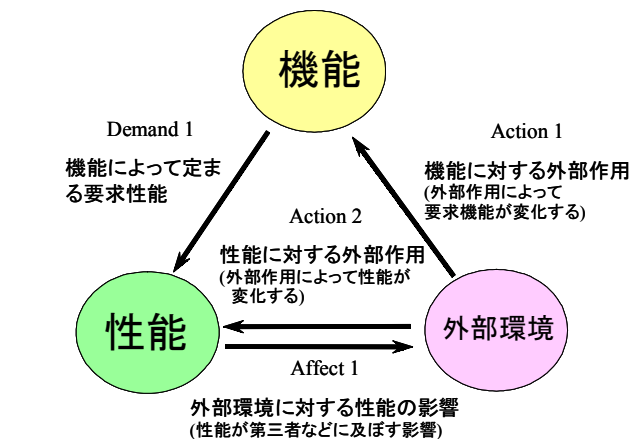


図 1 LCD のトリレンマ

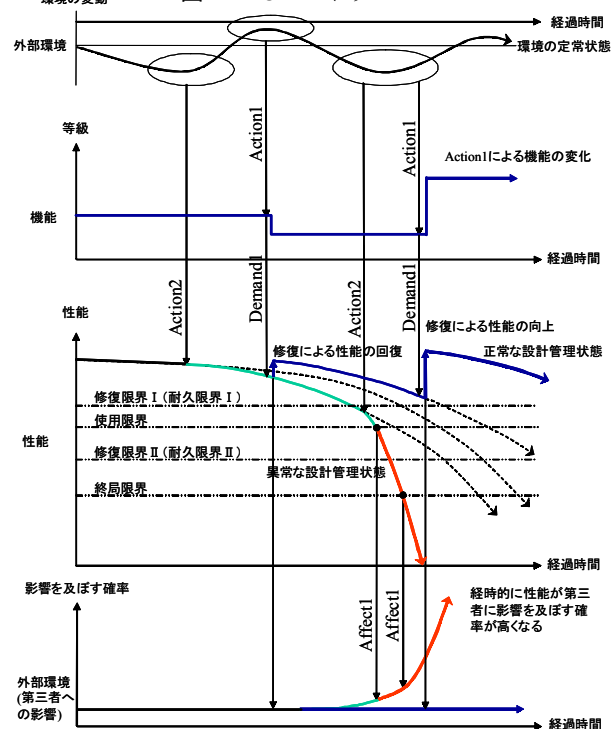


図2 絶対的な各 Phase の相互関連

キーワード：シールドトンネル，長期性能，継続的設計法，耐久性能，構造性能，機能

連絡先：〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1 TEL：076-248-8426 FAX：076-294-6713

表 1 各 Phase の相互関連の考え方

Phase	作用		具体的な内容
外部環境	Action1	社会環境の変動による作用	経済情勢の変動による作用
			技術革新による作用
			需要変動による作用
			気象環境の変動による作用
			地形的な要因による作用
	Action2	トンネル周辺の地盤環境からの作用	地質的な要因による作用
			地下水による作用
			トンネル内環境(使用環境)からの作用
			周辺環境の覆工への作用
			近接施工による作用
機能	Demand1	建設時に要求される機能によって定まる	建設時に要求される機能によって定まる
			供用に期するための機能によって定まる
			供用時に要求される機能によって定まる
			点検時に要求される機能によって定まる
			修復時に要求される機能によって定まる
	Affect1	性能が低下したことによる影響	トンネルを供用する人および器物への影響
性能	Action1	社会環境の変動による作用	経済情勢の変動による作用
			技術革新による作用
			需要変動による作用
			気象環境の変動による作用
			地形的な要因による作用
	Action2	トンネル周辺の地盤環境からの作用	地質的な要因による作用
			地下水による作用
			トンネル内環境(使用環境)からの作用
			周辺環境の覆工への作用
			近接施工による作用
性能	Demand1	建設時に要求される機能によって定まる	建設時に要求される機能によって定まる
			供用に期するための機能によって定まる
			供用時に要求される機能によって定まる
			点検時に要求される機能によって定まる
			修復時に要求される機能によって定まる
	Affect1	性能が低下したことによる影響	トンネルを供用する人および器物への影響

表 2 各作用の定義³⁾一部加筆修正

種類	定義
直接作用	構造物に集中あるいは分布して作用する力学的な力の総称
間接作用	構造物に課せられる変形や構造物内の拘束の原因となるもの
劣化作用	構造物の材料を劣化させる原因となるもの

こととする。図 2 は、経時的な環境変化に伴う各 Phase の相互関連を概念的に示したものである。外部環境、機能および性能の各 Phase の相互関連は、Action1、Action2、Demand1、Affect1 として定義した。Action1 は外部環境の変化によって生じる機能への作用を意味する。Action2 は外部環境から性能への作用を意味する。また、機能によって要求される性能は Demand1 と定義し、他の作用とは分けてとり扱うべきものと考えた。Affect1 は性能の低下によって生じる外部環境への影響(第三者などへの影響)を意味することから、Action1、Action2 とは分けてとり扱うこととした。表 1 は Action1、Action2、Demand1、Affect1 の具体的な項目の例を示したものである。また、表 2 は表 1 中の作用を詳細に分類し定義したものである。

3. トンネル構造物の性能評価の考え方

前述の各 Phase の相互関連から定まった性能を満足するように構造物を設計する。すなわち、要求される性能に対応した限界状態を設定し、それを満足するように構造物を設計することを考えた。

表 3 は設計の対象となる性能項目とその評価指標の例を示したものである。性能は構造性能、耐久性能、使用性能および修復性能に大別した。構造性能は力学的な作用や変形などに対する性能、耐久性能は構造物の劣化に対して抵抗する性能、使用性能は構造物の機

表 3 性能とその評価指標の例

性能	性能の分類		定義	評価指標の例	照査基準
	構造性能		直接作用、間接作用に対する性能	余力保持性能 付加外力支持性能 変形特性性能 構造安定性能	終局限界状態
性能	耐久性能		間接作用、劣化作用に対する性能	防水性能 防食性能 化学的腐食に対する性能 物理的劣化に対する性能	
	使用性能		供用・機能に関する性能	供用性 機能性 美観性	使用限界状態
	修復性能		維持管理性能 修復性能	点検に関する性能 補修に関する性能 補強に関する性能	

表 4 限界状態の種類とその定義

種類	定義
修復限界状態Ⅰ(耐久限界状態Ⅰ)	使用限界状態を下まわる前に修復が可能な限界状態
使用限界状態	構造物の供用に対する限界状態
修復限界状態Ⅱ(耐久限界状態Ⅱ)	終局限界状態を下まわる前に修復が可能な限界状態
終局限界状態	構造物の破壊に対する限界状態

能や供用するにあたって要求される性能、修復性能は修復や維持管理に対する性能とそれぞれ定義した。ここで、維持管理性能は点検のしやすさに関する性能、また修復性能は補修のしやすさや補強のしやすさに関する性能と考えている。これらの性能の照査は各種の限界状態を設定して行うものとした。

表 4 は現状で想定される限界状態の種類とその定義を示したものである。使用限界状態は構造物の供用性に対する限界状態、終局限界状態は構造物の破壊に対する限界状態である。したがって、これらを満足できなくなることは、すなわち構造物として供用できなくなる状態になる、あるいは構造的に危険な状態になることを意味する。そこで、これらの状態になる前に構造物に対して修復を施し、性能を回復、もしくは向上させる必要がある。そこで、修復限界状態Ⅰと耐久限界状態Ⅰとを使用限界状態を下まわる前に修復(一般に補修)を行うための限界状態として、また修復限界状態Ⅱと耐久限界状態Ⅱとを終局限界状態を下まわる前に修復(一般に補強)を行うための限界状態としてそれぞれ設けた。以上に、LCD 手法の概念を述べた。今後はこの概念に基づき、トンネル構造物を具体的に設計するための設計法の詳細を検討する所存である。

参考文献

1) 土木学会：トンネルの限界状態設計法の適用，トンネルライブラリー11，2001.
2) 星谷，石井：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986.
3) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本，2002.10.