

社会的費用とリスクを考慮した 下水管渠のストックマネジメント

岩下 達也¹・瀬脇 康弘²・松本 亨³

¹非会員 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科 (〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1)
E-mail:m10c0101@hibikino.ne.jp

²学生会員 北九州市立大学大学院 国際環境工学研究科 (〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1)
E-mail:m09c0401@hibikino.ne.jp

³正会員 北九州市立大学 国際環境工学部 環境生命工学科 教授 (〒808-0135 福岡県北九州市若松区ひびきの1-1)
E-mail:matsumoto-t@env.kitakyu-u.ac.jp

我が国では、高度経済成長期に急速に整備された大量の社会資本ストックが、一斉に更新期を迎えることにより、維持管理・更新費用の急速な増加が懸念されている。また、高齢化した社会資本ストックは、劣化などによる機能の低下によって重大な事故を発生させる可能性が考えられる。

本研究では、下水管渠を対象とし、その新設及び更新工事について、工事に要する建設コスト（内部コスト）だけでなく、工事に伴って周辺へ与える影響を外部コスト（環境影響、社会影響）として求め、従来のライフサイクルコストとして算定した内部コストに外部コストを合算し、ライフサイクルソーシャルコストとして評価する手法を提示した。さらに、更新しないことのリスクについても評価し、上記社会的費用との二次元表示、並びに貨幣換算によるライフサイクルソーシャルコストへの合算により、リスクを評価に組み込むことも提案した。

Key Words : stock management, sewer culvert, risk assessment, social cost, infrastructure

1. はじめに

下水道事業の進展に伴い下水道管渠が敷設・延伸され、都市からの下水の収集・排除が行われるようになった。平成19年度末における下水道処理人口普及率は72%であり、下水道管渠延長は約40万kmとなった。これは地球約10周に相当する。この膨大なストックは、高度経済成長期に急速に構築されたものであり、欧米先進国と比較すれば若い。管渠施設に起因した道路陥没は毎年約4,000箇所発生しており、老朽化の問題が顕在化している。

このように下水道管渠ストックの維持管理・更新の必要性が高まる一方で、昨今の下水道事業予算の減少により自治体は財政的に厳しい局面を迎えており、平成18年11月から、「下水道事業におけるストックマネジメント検討委員会」が設置され、効率的な管理手法が検討されている。下水道事業におけるストックマネジメントの目標として、下水道サービスの維持、ライフサイクルコストの最小化、安全性の確保が挙げられている。これら目標を達成するために

様々な取り組みが行われている。技術面では、老朽管の改築工事における低コスト工法の技術開発が活発化している。改築工事においては、路上工事による交通渋滞や騒音、振動等の周辺環境への影響が想定されるが、環境意識や権利意識の高まりもあり、これらの低減も工法選定の際に考慮すべき項目となりつつある。

下水道工事の場合、施工費用や材料等の建設コストは事業者の負担となるが、工事に伴う交通渋滞や騒音、振動といった社会・環境影響は、事業者ではなく、機会損失や健康・精神的被害という形で周辺住民が負担している。また、CO₂のような地球環境への影響も負担する仕組みはない。

市場経済下では、住民や環境への被害が内部コストとして表出しない限り、事業者が自ら影響要因を見出し、対処するというインセンティブは働きにくい。したがって今後の下水管渠の新設及び更新工事の工法選定にあたっては、建設コストのみならず、工事に伴って周辺環境へ与える影響を外部コスト（環境影響、社会影響）として算定し、社会的費用として総合的に評価・提示することには大きな意義がある。

本研究では、下水管渠の新設及び更新工事を対象とし、工法別の外部コストを含めた社会的費用を算出し、環境や社会影響に配慮したトータルコストの面から維持管理手法を選定する手法提示を目的とする。そのために、まず、ライフサイクルにわたるソーシャルコストを工法毎に算出・比較し、考察した。さらに、更新しないことのリスクを評価に加えるための手法についても考察した。

2. 下水管渠工事における建設コスト（内部コスト）及び外部コストの推計方法

(1) 下水道管渠工事における対象工法の選定

本研究では、下水管渠の新設工事における工法を、従来工法である開削工法、非開削工法であり推進工法であるオーガ掘削推進工法、更新工事における工法を、開削工法と更生工法であるオールライナー工法を対象とした。

オーガ掘削推進工法は、管先端に取り付けたオーガで掘削し、ヒューム管内に組み込んだスクリーコンベヤでずりだし、管体を推進埋設する工法である。

オールライナー工法は、既設管渠内にライナーを引き入れた後、ライナーに水圧又は空気圧にて拡張し、温水又は蒸気で加熱して樹脂を硬化形成させることによって既設管渠内に新しい管渠を形成する非開削工法である。

(2) 建設コスト（内部コスト）の推計

建設コストの算出は、積算資料^{1) 2)}を参考に行った。建設コストの対象工法と算出条件は、表-1のとおりである。

表-1 建設コストの対象工法と算出条件

工 法	新設工事		更新工事	
	開削	オーガ掘削推進	開削	オールライナー
管 種	硬質塩化ビニル管			
管 径	250mm			
入 孔 区 間	45m			
管 体 延 長	44.1m			
平 均 土 被 り	3.05m			
土 質	砂質土			
N 値	10			

(3) 外部コストの推計

本研究では、交通渋滞（時間損失）、騒音（建設機械騒音）、地球温暖化（CO₂）、大気汚染（NO_x）、建設副産物（アスファルト混合物、発生土）を対象として外部コストである環境コストの算出を行った。

算出方法は、国土交通省にて検討された指針案³⁾に従って行った。外部コストの算出条件を表-2に示し、算出原単位を表-3に示す。

表-2 外部コストの算出条件

センサ区分	人口集中地区	その他市街部	非市街部
規制時間	9:00～17:00		
規制時間交通量	12000台	8000台	3000台
規制区間長	55m		
規制区間走行速度	30km/h	45km/h	
大型車混入率	20%		
信号青時間	25秒		
信号サイクル長	80秒		
住宅・商業地占有率	60%	12%	4%

a) 交通渋滞（時間損失）

本研究では、道路形態を片側1車線で道路規制をかけ上りと下りの交互で走行するとした。

下水道管渠工事を行う場合、供用中の道路の一部を占有しなければならず、社会的に影響を与える交通渋滞が発生する。この交通渋滞による走行時間の遅れに対する外部コストを算出する。

表-3にある「渋滞による走行時間の遅れ」の算出式⁴⁾を次に示す。

渋滞による走行時間遅れ（分）

=（実際の走行時間－基準走行時間）

=（規制区間長/規制区間平均走行速度

－規制区間長/通常時の走行速度） (1)

表-3 外部コストの推計に用いた原単位

外部コスト項目		原単位	外部コスト算出式	出典
交通渋滞	時間損失（乗用車類）	67円/台・分	×[渋滞による走行時間の遅れ(分)]×[述べ台数]	指針案 ³⁾
騒音	建設機械騒音	0.55円/dB・m ² ・日	×[工事騒音(dB)－55dB]×[影響居住地面積(m ²)]×[工事日数]	指針案 ³⁾
CO ₂	建設機械（軽油）	1.7円/ℓ	×[燃料消費量(ℓ/h)]×[稼働時間]	指針案 ³⁾
	建設機械（ガソリン）	1.5円/ℓ	×[燃料消費量(ℓ/h)]×[稼働時間]	指針案 ³⁾
NO _x	人口集中地区	2920円/kg	×[建設機械のNO _x 排出係数(kg/h)]×[稼働時間]	指針案 ³⁾
	その他市街部	580円/kg	×[建設機械のNO _x 排出係数(kg/h)]×[稼働時間]	指針案 ³⁾
	非市街地	200円/kg	×[建設機械のNO _x 排出係数(kg/h)]×[稼働時間]	指針案 ³⁾
建設副産物	アスファルト混合物	1631円/t	×[発生量(t)]	指針案 ³⁾
	発生土	853円/t	×[発生量(t)]	指針案 ³⁾
CO ₂	エポキシ樹脂	3.3円/kg	×[消費量(kg)]	JEMAI LCA-Pro
	硬質塩化ビニル管	21.7円/m	×[消費量(m)]	銑鋼センター

また、「規制区間平均走行速度」とは

$$\begin{aligned} & \text{規制区間平均走行速度 (m/min)} \\ & = \text{規制区間走行速度} / 2 \\ & \times \text{信号青時間} / \text{信号サイクル長} \quad (2) \end{aligned}$$

なお、表-3にある「交通渋滞による走行時間の遅れ」とは、規制区間箇所において交通規制が行われている区間通過時間と交通規制が行われていない通常時の区間通過時間との差を示したものであり、同じく「述べ台数」とは、交通規制時間中に通過した車種別交通量である。

b) 騒音

工事の際、建設機械によって発生する騒音は周辺住民へ少なからず影響を与えていることから、建設機械の使用によって発生する騒音に対する外部コストを算出する。算出においては、表-3に示された式から工事騒音による環境コストと通常時の交通騒音による環境コストを算出し、本研究では工事時と通常時の差を騒音による環境コストとした。

c) 地球温暖化 (CO₂)、大気汚染 (NO_x)

工事の際、地球温暖化に影響を与えるCO₂の排出や大気汚染 (NO_x) をライフサイクルインベントリ分析の手法を用い算出する。建設機械の運転と、資材の製造時を対象に推計する。

工事によって発生する排出ガスによる環境コストについては、CO₂は、環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会資料⁹⁾の値を、NO_xは日本建築学会LCA小委員会が定めた値 (表-4) それぞれを用い、道路投資の評価に関する指針 (案)⁹⁾より、貨幣価値換算をした。

指針⁹⁾では、海外の事例に基づく平均的な値として20ドル/トン-Cを用いることとされている。これを平成8年度の為替レートで円換算した値である2,300円/トン-Cを国内における地球温暖化の貨幣評価原単位としている。

燃料消費量は、日本建設機械化協会の平成18年度版建設機械等損料表の値を用いた (表-5)。これらを用い、表-3に示された式よりそれぞれ算出を行った。

表-4 環境負荷排出原単位

項目	CO ₂ 原単位 (kg/ℓ)	NO _x 原単位 (kg/ℓ)
ガソリン	2.36	0.006
軽油	2.64	0.020
灯油	2.53	0.003

表-5 工事時間あたり燃料消費量

建設機械	燃料消費量 (ℓ/h)
バックホウ (山積0.13m ³)	4.4
バックホウ (山積0.45m ³)	11.0
ダンプトラック (10t)	4.4
ダンプトラック (2t)	4.4
トラッククレーン (油圧伸縮ジブ型4.9t吊)	4.7
トラッククレーン (油圧伸縮ジブ型20t吊)	5.7
トラッククレーン (4t積、2.9t吊)	6.6
ラフテーククレーン (油圧伸縮ジブ型25t吊)	20.0
汚泥吸排車	7.2
アスファルトフィニッシャー	4.1
ロードローラー (10～12t)	6.0
タイヤローラー	1.7
タンバ (ガソリン)	0.9

また、工事で使用した材料 (樹脂、管材料) を表-3の式を用いて算出した。

硬質塩化ビニル管は、JISによると管径250mmのときの1m当りの重量は15.481kgであるので、硬質塩化ビニル管の原単位5.940kg-CO₂/kgを1m当りに換算した。

d) 建設副産物 (アスファルト混合物、発生土)

工事によって発生した建設副産物 (アスファルト混合物、発生土) は埋め戻し材等として再利用可能だが、本研究では、掘削によってアスファルト殻や発生した残土は埋立地に処分することとして、最終処分場の整備に伴う周辺の地下下落と処理過程におけるCO₂の排出が挙げられる。そこで、建設副産物による外部コストを表-3の式から算出した。

3. 下水道管渠工事におけるLCCO₂の算出

下水道管渠工事におけるLCCO₂ (ライフサイクルCO₂) の算出結果を表-6及び図-1に示す。また、算出結果から、下水管渠工事では材料に比べ建設機械の運転によるCO₂の排出量が多いことが明らかになった。オールライナー工法は内面被覆の樹脂によるCO₂排出量が少ないことから材料によるCO₂排出が大変少なくなった。

表-6 工事・工法別のLCCO₂

		単位 (kgCO ₂)		
新設工事	建設機械	材料 (樹脂、管)	計	
新設工事	開削工法	5,434	2,436	7,869
	推進工法	2,209	2,436	4,645
更新工事	開削工法	5,434	2,436	7,869
	オールライナー工法	1,721	16	1,737

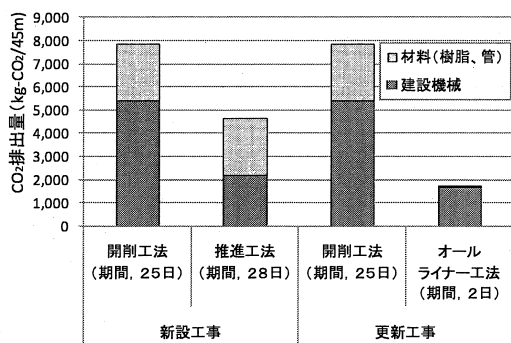


図-1 工法別のLCCO₂の算出結果

4. 外部コストを考慮した下水道管渠工事の評価

(1) 建設コスト（内部コスト）の算出結果

建設コスト（内部コスト）の算出結果を表-7及び図-2に示す。建設コストが最も高価なのは、推進工法であるオーガ掘削推進工法となった。また、オールライナー工法は開削工法による更新工事と比較すると、約半分しかコストがかからないことが分かった。

表-7 建設コスト（内部コスト）の算出結果

工事	工法	建設コスト(円)
新設工事	開削工法	3,221,281
	推進工法	3,357,248
更新工事	開削工法	3,221,281
	オールライナー工法	1,735,949

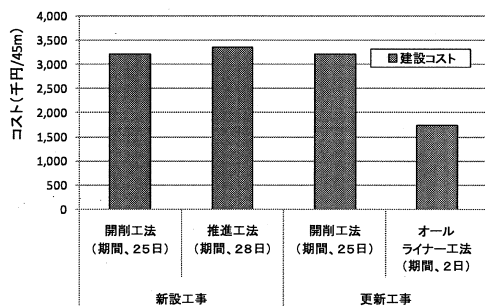


図-2 建設コスト（内部コスト）の算出結果

(2) 外部コストの算出結果

外部コストの算出結果をセンサス区分別に表-8及び図-3に示す。本研究ではセンサス区分を、人口密度の高い順に、人口集中地区、その他市街部、非市街部の3地区

について、工事を行った場合の外部コストを行った。

表-8 センサス区分別の外部コストの算出結果

		<人口集中地区>						
		環境コスト(円)						
工事	工法	CO ₂	アスファルト混合物	発生土	NOx	建設機械騒音	時間損失	計
新設工事	開削工法	4,385	93,138	318,723	94,132	127,050	5,756,400	6,393,808
	推進工法	2,343	17,263	2,670	38,553	142,296	6,447,168	6,850,293
更新工事	開削工法	4,385	91,278	312,622	94,132	127,050	5,756,400	6,385,844
	オールライナー工法	1,089	0	0	18,045	10,164	460,512	489,810

		<その他市街部>						
		環境コスト(円)						
工事	工法	CO ₂	アスファルト混合物	発生土	NOx	建設機械騒音	時間損失	計
新設工事	開削工法	4,385	93,138	318,723	18,698	25,410	2,489,520	2,949,854
	推進工法	2,343	17,263	2,670	7,658	28,459	2,788,262	2,846,655
更新工事	開削工法	4,385	91,278	312,622	18,698	25,410	2,489,520	2,941,890
	オールライナー工法	1,089	0	0	3,584	2,033	199,182	205,868

		<非市街部>						
		環境コスト(円)						
工事	工法	CO ₂	アスファルト混合物	発生土	NOx	建設機械騒音	時間損失	計
新設工事	開削工法	4,385	93,138	318,723	6,447	8,470	933,570	1,364,713
	推進工法	2,343	17,263	2,670	2,641	9,486	1,045,598	1,080,001
更新工事	開削工法	4,385	91,278	312,622	6,447	8,470	933,570	1,356,749
	オールライナー工法	1,089	0	0	1,236	678	74,686	77,688

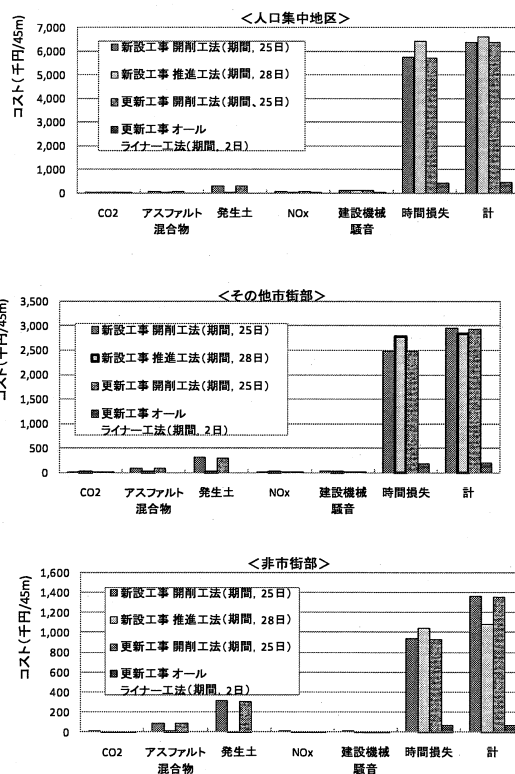


図-3 センサス区分別の外部コストの算出結果

外部コストで最も高価となるのは交通渋滞による時間損失であることが分かった。そのため工期が2日のオールライナー工法は最も安価になった。また、時間損失以外の外部コストでは、建設副産物である発生土やアス

アルト混合物が他の外部コストに比べて高い値となった。

(3) 社会的費用の算出

建設コストと外部コストをから算出した社会的費用(その他市街部)を図4に示す。

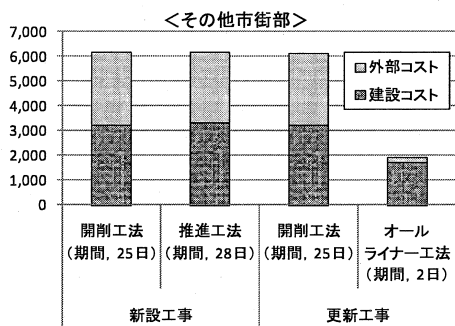


図4 社会的費用の算出結果

工期の最も短いオールライナー工法が他の工法と比べて社会的費用が少ない結果となった。その他市街部における外部コストと建設コストの割合は開削工法も推進工法も同じくらいであることもわかった。

5. リスク評価

(1) 下水道管渠の管渠破損によるリスク評価

下水道管渠の管渠破損によるリスクを被害発生確率と影響の大きさを乗じることで定量化する。

被害発生確率は小棚木ら⁶⁾が推計した管路破損率(図-5)を導入し、管渠破損による影響の大きさ治水経済マニュアル⁷⁾より、北九州市における浸水被害額を算出した。

浸水被害額は、不具合箇所の修繕、緊急帯対応(対策本部の運営、広告等)、経済・社会の損害を貨幣価値換算した(表-9)。さらに総被害額を北九州市の下水管の総延長で除し、1スパン(45m)における浸水による被害額を算出し、その1スパンの修繕費と合算することで浸水被害の影響の大きさを定量化した(表-10)。

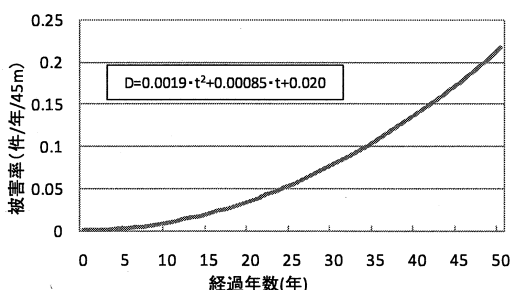


図-5 管路破損率⁶⁾

単位(円)

事務所における緊急対策費用	28,704,310,000
家庭における応急対策費用	53,127,009,936
営業停止損失	17,639,061,786
公共土木施設等被害額	228,691,672,444
一般資産被害額	135,000,987,275
浸水における総被害額	463,163,041,440
1スパンの被害額	5,563,146
管渠修繕費用	1,742,716
1スパンの浸水被害による影響の大きさ	7,305,862

表-9 北九州市を事例とした浸水における総被害額と1スパンの浸水被害の影響額

(2) リスクと社会的費用の関係をを用いた評価

図-6は、新設から50年経過したときのリスクと社会的費用の関係を示す。建設コストのみで更新期を判断するのではなく社会的費用を考慮することで更新工事の時期が変わることが示す図である。

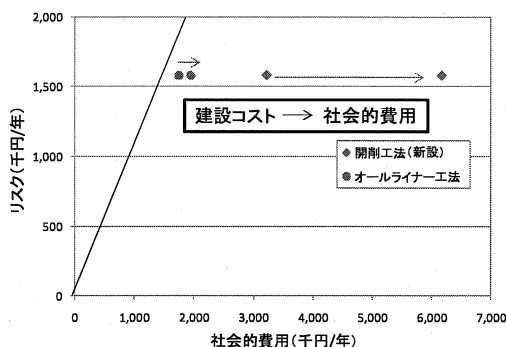


図-6 リスクと社会的費用の関係をを用いた評価

6. ライフサイクルソーシャルコストの評価

本研究では、下水道管渠の100年間のライフサイクルシナリオを設定し、ライフサイクルソーシャルコストを算定した。硬質塩化ビニル管の耐用年数は50年、オールライナー工法は1991年より日本で導入された工法なので正式な耐用年数は未知だが、硬質塩化ビニル管同様50年もつであろうとされているので、50年目に更新工事を行うとして、その間に修繕、修復は行わないものとする。なお、オールライナー工法は繰り返して施工することはできないとされる。

図-7にその他市街部において従来工法である開削工法のみで新設、更新を行った場合と外部コスト(環境影響、社会影響)を考慮した社会的費用が安価になるライフサイクルソーシャルコストを示す。

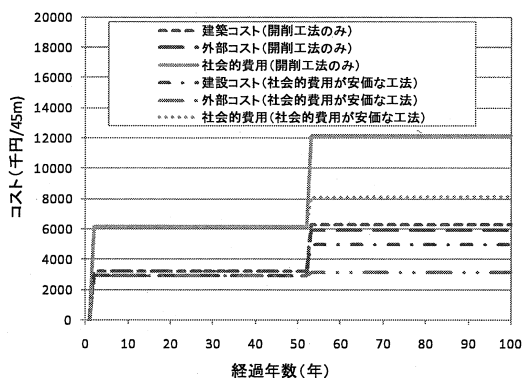


図-7 開削工法のみの場合と外部コスト（環境影響，社会影響）を考慮したときのライフサイクルソーシャルコスト

社会的費用がかからないオールライナー工法による施工を選択することでライフサイクルソーシャルコストの低減が可能となるかが示せた。

7. まとめ

本研究では，社会資本のストックマネジメントに社会的費用を導入し，ライフサイクルシナリオにおける内部費用と外部費用を合算したライフサイクルソーシャルコストを推計することでその効率的維持管理・更新に活用する手法を提示した．具体的には下水道管渠工事を対象とし，開削工法，推進工法及び，オールライナー工法の

外部コストを含めた社会的費用を算出し，比較評価を行い工法選択の優先順位が変わることを示した．さらに，リスク評価を行うことで，社会的費用概念を導入することで更新工事の時期が変わる可能性を示した．

今後は，点検管理，修繕なども考慮したライフサイクルでの評価を行い，ケーススタディの精度を向上させること，恒久的代替行動を考慮したリスク評価を実施することが今後の課題である．

参考文献

- 1) 建設物価調査会：改訂 18 版 下水道工事積算の実際
- 2) オールライナー協会：積算参考資料，平成 21 年 9 月
- 3) 社会コストを組み入れた建設事業コストの低減技術に関する検討委員会：総合的な建設事業コスト評価指針（試案），平成 14 年 3 月．
- 4) 村岡基：下水管渠の改築工事に伴う更生工法の社会経済評価，下水道協会誌，Vol.45，No.550，2008/08
- 5) 環境庁温室効果ガス排出量算定方法検討会：温室効果ガス排出量算定方法に関する検討結果，平成 12 年 9 月
- 6) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針（案），平成 10 年 6 月
- 7) 小棚木修，小泉明，渡辺晴彦：水道管路の更新順序と投資水準の適正化に関する研究，環境システム研究論文集，Vol.31，pp.169-177，2004．
- 8) 国土交通省，河川局：治水経済調査マニュアル（案），平成 17 年 4 月

Stock Management of Sewer Culvert Considering Social Cost and Risk

Tatsuya IWASHITA, Yasuhiro SEWAKI and Toru MATSUMOTO

In our country, a large amount of infrastructure stock was furnished in the rapid economic growth period. As those stocks are taking a time for renewal, a rise of cost to keep and renew them is feared. Moreover, old infrastructure stocks could invite serious accident because of a decline in function such deterioration.

In this study, we take culvert as an object, and on construction for found and renew, calculate not only cost of construction but also external cost (influence for environment, influence for society) which have influence on surround with construction. And, an external cost was added to the internal cost calculated as a past life cycle cost, and the technique for evaluating it as a life cycle social cost was presented. In addition, the risk was evaluated, and it showed by two dimensions with the societal cost. And, it proposed to convert the risk in money, to combine with a life cycle social cost, and to evaluate it.