

道路事業における機会損失を含めた コスト最小化に関する研究

建設省土木研究所 曾根 真理^{*1}建設省土木研究所 橋本 聖^{*2}建設省土木研究所 四辻 裕文^{*3}

By Shinri SONE, Hijiri HASHIMOTO, Hirofumi YOTSUTUSJI

本研究は、今後の公共事業の効率的実施を行うにあたり、社会的経費も含めた上で、事業着手から事業完了までの事業全体のコスト最小化を行うことを目的として研究を行うものである。

仙台西道路を対象とした道路整備事業のケーススタディでは、事業が遅延した場合の機会損失と工事費の増大との比較を行った。一般国道 15 号を対象とした道路維持補修事業のケーススタディでは、夜間工事を行う場合と昼間工事を行う場合についてコスト比較を行った。

これらのケーススタディの結果、社会的な負担を最小にするためには、工事費のみならず機会損失も含めて総合的に判断を行う必要があることが判明した。社会的な負担が最小となるパターンを選択するためには、1)当該事業の実施によって発生（損失）する便益、2)当該事業の直接工事費、3)事業実施に要する期間を把握したうえで、社会的コストと直接コストの和を算出することが必要であることも判明した。

【キーワード】ライフサイクル・コスト、機会損失、ケーススタディ

1. 背景

現在、政府が行っている公共事業に関する一連のコスト縮減への取り組みは、主として発注契約過程を通じた価格管理が中心として行われている。近年は VE 等を用いることにより建設工事全体の費用を削減することも検討されている。今後はさらに、費用だけでなく、便益も考慮した上で公共事業のプロジェクト全体のコストを縮減することが課題として考えられる（図-1）。

従来から、事業全体のコストについて分析を行う必要性は認識されていたが、公共事業の予算執行が単年度性であることから、複数年にわたる執行額に関するデータの蓄積が十分になく、実際に行われた例はあまりなかった。本研究は、今後の公共事業の効率的実施を行うにあたり、社会的経費も含めた上で、事業着手から事業完了までの事業全体のコスト最小化を行うこ

とを目的として研究を行うものである。

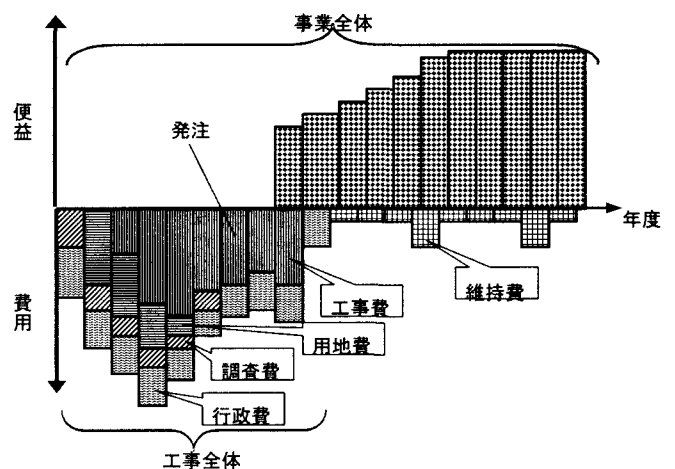


図-1 プロジェクト全体のコスト

^{*1} 道路部道路研究室、0298-64-2211 ext.4625

^{*2} 材料施工部施工研究室、0298-64-2211 ext.4737

^{*3} 道路部道路研究室、0298-64-2211 ext.4629

2. 基本的考え方

(1) 事業段階毎のコスト縮減

公共事業の事業執行過程は複雑であり、これを正確かつ簡潔に示すことは困難である。ここでは、本研究の視点がどこにあるのかを示すため、主として大規模道路プロジェクトを想定した上で、思い切って簡略化した（図-2）。コスト縮減といっても、以下に述べるように、様々な段階で様々な手法のコスト縮減が存在するとの考えに基づいている。

まず、1)公共事業を実施するにあたって、公共事業の実施そのものを決定する（以下、事業化決定とする）。次に、2)環境アセスメント、都市計画手続き等の過程において、住民、関係機関等との折衝を経て対外的諸条件が確定する。続いて、3)事業主体と設計委託者等が打ち合わせを行い設計書、工事計画等を確定する。最後に、4)受発注業務、検査等を行い工事が完成する。

以上の様にプロジェクトを捉えた場合、各々の執行過程のコスト縮減は次のようになると考えられる。

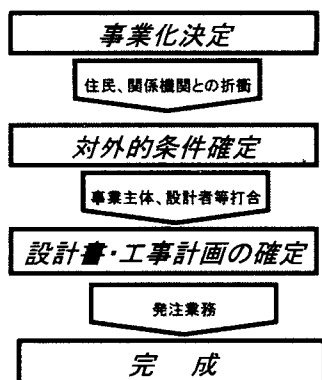


図-2 公共事業執行過程

① 対外的条件確定まで

大規模プロジェクトの場合には、一般的に事業化決定が行われた後、環境アセスメント、都市計画決定等の手続きが行われ、この中で事業主体と関係市民、関係機関等との間で折衝が行われる。また、比較的規模の小さい道路事業の場合には、環境アセスメント、都市計画決定を伴わないことがあり、この場合には用地買収等の段階で用地提供者等との間で折衝を行う。こうした折衝過程の中で、以下に挙げるような様々な条件が確定していく。

- ・ 用地幅
- ・ 基本構造（道路の場合であれば掘割か高架か等）

- ・ 構造物の基本性能（道路の場合であれば車線数等）

以上の条件を確定していくにあたって、付随する多くの事柄が取り決められていく。この段階における様々な決断が後のコストも含めた事業全体に非常に大きな影響を及ぼす。インハウス・エンジニアとしては最も困難な業務であるが、同時に極めて高度な技術的・行政的判断が要求される業務である。図-1 であれば事業全体の費用である。

② 設計書・工事計画の確定まで

対外的な条件が確定した後、事業主体からみれば広義の内部関係者（インハウス・エンジニア、設計委託者等）の間で、以下に挙げる事柄等について決定を行う。

- ・ 設計書
- ・ 工事計画
- ・ 工事発注要件

この段階の判断においては、高度に専門的・総合的な技術力が要求される。近年において、民間側に相当な技術の蓄積が行われ、VE等の手法を適宜採用することによりコスト縮減を行うことも重要な課題となっている。図-1 であれば工事全体の費用である。

③ 設計書、工事計画の確定以降

発注要件が確定した後、発注者側では発注条件（発注ロットの設定、検査の適正化等）の検討、工事受注者側では技術開発、発注後の調達計画の検討等を通じてコスト縮減を行う。図-1 であれば発注費用である。

本研究では、主として「① 対外的条件確定まで」を対象とした社会的コストに着目して分析を行うこととする。

(2) 社会的コスト

本研究では「① 対外的条件確定まで」を対象としたが、この段階では主として行政内部において、表－1 に例示した比較表を用いたコスト、便益、その他の条件の検討を行い、総合的な判断を行うことが一般的である。表は道路事業の例を示したが、建設省所管の他の事業においても同様の検討を行っている。

表－1 道路事業のルート検討の例

	Aルート	Bルート	Cルート
模式図			
計画概要	-----	-----	-----
道路諸元	-----	-----	-----
概略事業費	-----	-----	-----
長所	-----	-----	-----
短所	-----	-----	-----
総合評価	△	◎	○

この段階において、費用便益比（Cost-benefit ratio、以下 B/C と略す）を最大にするのか、便益と費用の差（Social net benefit、以下 B-C と略す）を最大にするのかについては、今後の研究を進めた上で結論を出すことにしたい。しかしながら、筆者がここで強調したいことは、便益と費用の両者を視野に入れて総合的に判断を行っている点である。

公共事業の目的は社会的便益の最大化が目的であり、公共事業の費用は便益との関係において判断すべきである。こうした判断について、主として機会損失に焦点を当てて、考察を行うこととした。

(3) ライフサイクル・コスト

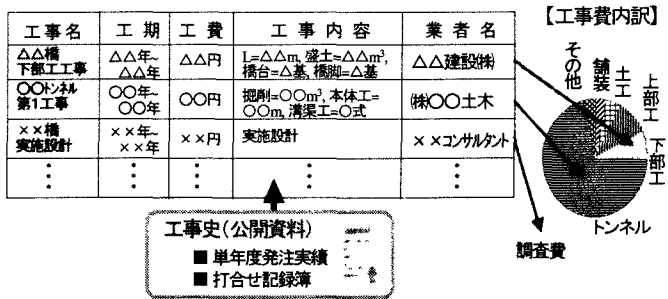
これまでは、主として社会資本の建設段階について述べてきたが、維持管理段階においても費用は便益との関係を考慮して最小になることが好ましい。このため、道路建設における機会損失コストと便益の関係の延長として、道路の維持管理についても機会損失コストと便益の関係について考察を加えることとした。

3. 全体事業費の把握

研究の第1段階として、道路事業の設計から工事完了までの全体事業費について、過去に工事が完了した実際の道路事業（仙台西道路事業）をケーススタディの対象として、全体事業費の把握を行うこととした。

本調査は、基本的に工事誌¹⁾、回想録²⁾等を用いて行い、必要に応じてヒアリング等を行った（図－3）。また、工事、用地、調査等の直接経費以外に、行政経費も併せて試算した。

事業が長期にわたるため、費用にはデフレーターによる修正を加えた。

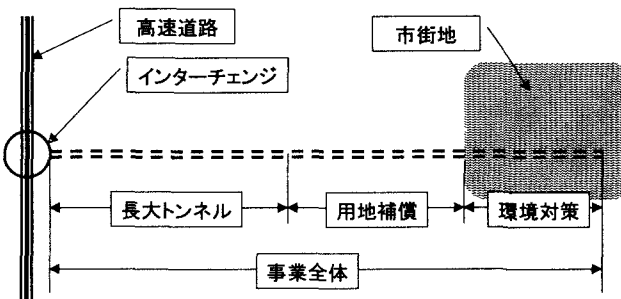


図－3 全体事業費の把握

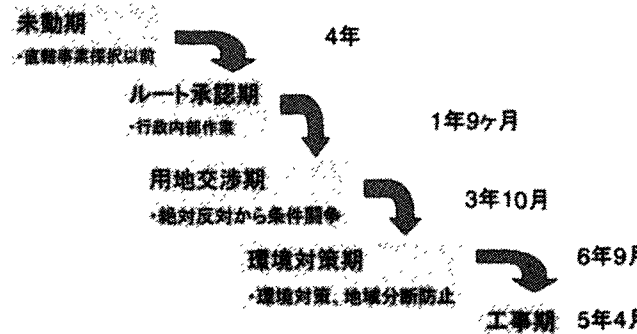
(1) 対象事業

対象となった事業はインターチェンジと市街地を結ぶ道路の改築事業である（図－4）。

本事業における主な課題は、1)都市計画決定区域外における用地交渉の難航、2)市街地におけるコミュニティの分断等の沿道環境対策、3)用地補償件数を減らすために山岳部で結果的に採択された長大トンネル案実施のための技術的問題、である。主要課題に着目



図－4 事業の概要



図－5 事業のタイムスケジュール

して事業期間を分類した結果が図-5 である。なお、図-5 で直轄事業採択以前を未動期としているが、この間は県が中心となって事業が行われており、直轄事業として見た場合の未動期である。また、本稿の分析は直轄事業の事業費を対象としているため、この期間の分析は対象外とした。

(2) コスト分類

本調査では、以下のコスト分類にしたがって集計を行ったが、その結果が図-6 である。本プロジェクトには長大トンネルが含まれていたため、トンネル事業費が非常に大きな比重を占めている (図-7)。

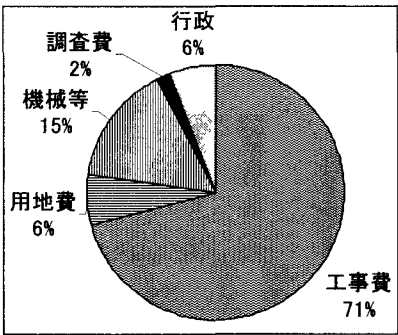


図-6 事業費の内訳

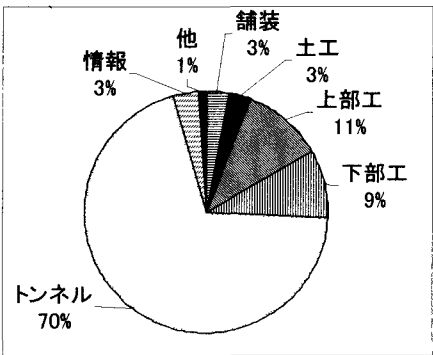


図-7 工事費の内訳

① 工事費 (建設に要した費用)

工事当時の平均的な事業費 (行政人件費を除く) に占める工事費の比率が6割程度であるのに対して、当該工事に占める工事費の割合は71%となり、工事費の比率が高い事業であった。これは、長大トンネル案を採用したことによると考えられる。

② 用地費等 (用地補償に要した費用)

工事当時の平均的な事業費に占める用地補償費の

割合は2~3割程度であるのに対し、当該工事に占める用地補償費の比率は6%となり、極めて工事費の比率が高いプロジェクトである。

③ 機械損料等 (機械損料、工事諸費等に要した費用)

工事当時の平均的な事業費に占める機械損料等の割合は1~2割程度であるが、当該工事に占める用地補償費の比率は15%であり、標準的な比率である。

④ 調査設計費 (調査、設計に要した費用)

工事当時の平均的な事業費に占める調査費の割合は不明であり比較を行うことはできないが、当該工事に占める調査設計費比率は2%であった。

⑤ 行政人件費

行政職員の人件費の算出は、過去の工事の記録等を参考にして、次の手順により推計した。交渉には地元自治体の協力が不可欠であり、行政経費には本来地元自治体の費用も含めるべきであるが、推計が困難であるため、今回の研究では対象外とした。

- 1)各年度における仙台西道路事業の工事事務所内各課が占める業務の比率 (時間投入比率) を推計。
- 2)各課内における当該事業が占める業務量推計は、基本的に当該工事事務所各課における特定大規模事業の業務分担状況を参考にして推計。
- 3)当時の回想録等を基に比率を修正。
- 4)工事誌の職員名簿から当時の役職別職員数を、俸給表の月額給与から当時の年間給与を推計。
- 5)各年度における行政人件費は、役職別職員数×職員給与×時間投入比率から算出。

本事業の試算結果から、事業期間全体を通じた行政コストの割合は概ね6%となった。

(3) 経年的変化

事業費の経年的変化は図-8 の通りである。事業着手後、約2年間、用地交渉に時間を要しており (図-5)、その後の3年目~6年目において用地費が多くなっている。7年目~13年目については、環境対策が問題になったと同時に、当時としてはあまり経験のない長大トンネル建設のための技術的検討に多くの労力を要したため、行政経費が多くなっている。このように、事業費内訳の変遷は事業状況を良く現している。

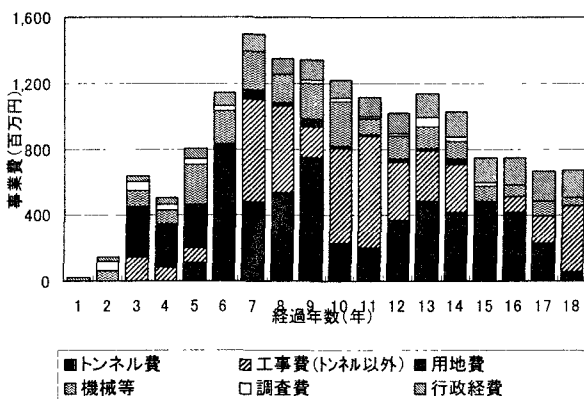


図-8 事業費の経年的変化

(4) まとめ

本ケーススタディの結果、一般的に困難とされていた特定の道路プロジェクト全体のコスト把握を、公開資料等を元に行うことが可能であることが判明した。また、行政コストについても、打ち合わせ記録、関係者のインタビュー等（ここでは主に回想録を用いた）を用いることで試算できることが明らかになった。

更に今後の課題として、合意形成に要する費用として、行政側の負担だけでなく住民側の負担も含む全体の合意形成コストを把握することが課題として抽出された。ただし、この全体合意形成コストの研究については、本稿の対象外とする（別稿にて発表予定）。

4. 計画変更前後の比較

本プロジェクトの当初案は、市街地を出た後、山裾を経て、山岳部をトンネルで抜ける案であった。直轄事業に採択される以前に事業が硬直状態に陥った原因として、山裾における集落において、住民の側に十分な合意が成立していなかったことが挙げられる。こうした状況の中で、4年間の間、事業はほとんど進まなくなってしまった。

(1) 長大トンネル案

本プロジェクトは、直轄事業になった後、1)住民合意に時間を要する当初案から、2)長大トンネル案（実際案）へと変更を行った（図-9）。当時のトンネル技術からすると、2,170mの長大トンネルを建設することは相当の決断であったことが回想録、打合せ議事録からわかる。

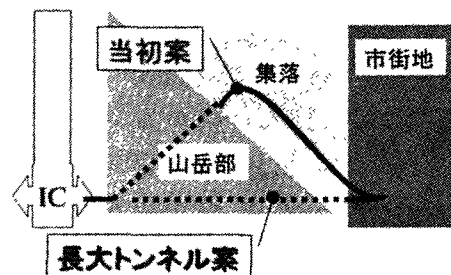


図-9 長大トンネル案の採用

(2) 建設コストは増加

本研究では、仮に当初案どおり事業が行われた場合の事業費の推計を行った（図-10）。これは、長大トンネルの採用によって、トンネル工事費の上昇、集落の回避による補償費の減少、道路の絶対延長の減少、等を差し引いた結果どうなるのか推計したものである。

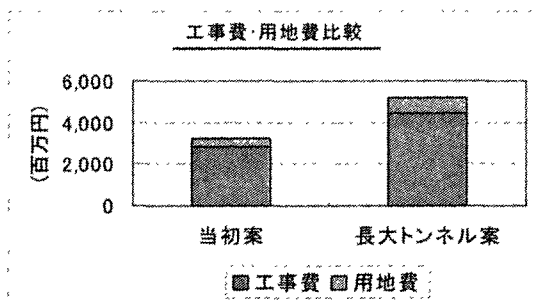


図-10 当初案と長大トンネル案（実際案）比較

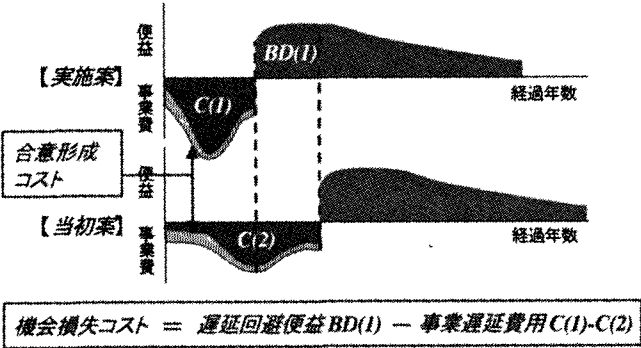
当初案の工事費は、1/5,000都市計画基本図をもとに、実際案の開削部の道路幅員を標準断面として設計を行い推計した。用地費は、実際案の用地取得実績から単位面積当たりの用地費を求めて推計した。当初ルートと実際ルートが異なる区間で推計した結果、実施案に比べて当初案の方が4割程度安くなるとの結果を得た。

(3) まとめ

本ケーススタディでは、実際に採用された長大トンネル案（実際案）と当初案の比較を行った。その結果、実際案の方が当初案よりも遥かに多くの事業費を要するものであったことがわかった。しかしながら、案を変更する以前には事業が硬直状態に陥っていたことを考えれば、実際案を採用したことで事業が進み出したとも考えられる。つまり、工事完了の遅れによる便益の減少又は投資した事業費の機会損失を考慮しなければ、こうした行動を説明できないことになる。今後の課題として、機会損失の見積り手法について研究を行う必要があることが判明した。

5. 機会損失コストの推計

本ケーススタディでは、前ケーススタディを受けて、同じく仙台西道路を対象として、機会損失コストの推計を行うこととした。本研究では、機会損失とは、工事完了の遅れによる便益の減少または投資の早期発現効果（以下、貨幣換算したものを遅延回避便益という）と工事完了の遅れによる事業費の増加または事業費縮減効果（以下、貨幣換算したものを事業遅延費用という）の差であると定義した。遅延回避便益は、仙台西道路の供用後の実交通量データを用い、道路投資の評価に関する指針(案)³⁾に基づいて試算した。更に、当初案を実施したと仮定したときの事業費を推計し、両者の比較を行うこととした（図-11）。また、年度毎の費用の修正には建設デフレーターによる修正を行い、社会的割引率4%として割り引いた。



■事業遅延費用

$$C(i) = \sum_{p=1}^P \left\{ \frac{M_p(i) \cdot c_p}{\sum_{p=1}^P M_p(i) (1+r)^{m_p + M_{p-1}(i)}} \right\} \quad (i=1,2)$$

■遅延回避便益

$$BD(1) = \frac{\{L(2) - L(1)\} \cdot b}{\sum_{m=L(1)}^{L(2)} (1+r)^{m/12}} \quad L(i) = \sum_{p=1}^P M_p(i)$$

■機会損失コスト

$$OC = BD(1) - \{C(1) - C(2)\}$$

※ P, 期間区分(p=1:承認期, p=2:用地期, p=3:環境期, p=4:終結), i, 代替案(i=1:実施案, i=2:当初案), M_p(i), 区分pの期間(月), L(i), 代替案の全期間(月), c_pは区分pの月平均事業費, bは遅延期間の月平均便

図-11 機会損失コストの考え方

(1) 実際案の便益

仙台西道路の実際案について、供用後の交通量及び旅行速度は図-12 のようになる。昭和 63 年の供用開始から交通量は伸びている。なお、昭和 58 年から長大トンネルの片側部分部分を用いて暫定共用を行ったため、昭和 58 年からバイパスの交通量が発生している。ただし、便益算出には、暫定共用分の便益は含めずに計算を行った。現実問題としては、インハウスエンジニアは暫定共用も十分考慮して判断を行うが、現時点で暫定共用に対する考え方についての整理を行っていないため除外することとした。暫定共用の便益については現在検討中であり追って発表することとしたい。

便益については、走行時間短縮効果と走行費用削減効果について計算を行った。交通事故削減効果、環境改善便益については十分なデータが得られなかったため計算を行わなかった。

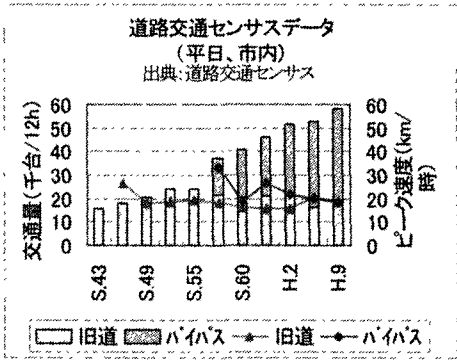


図-12 仙台西実交通量

(2) 当初案の仮想スケジュール

事業期間のうち、特に合意形成に要する期間について影響を及ぼす要因には、道路延長、交通量、地権者、地域分断、沿道環境などが考えられるが、具体的にどのような指標がどの程度まで影響を及ぼすものであるかについては研究が不十分であるため定かでない。本研究では、事業期間は道路延長に相関をもつと仮定して、実際案における各地区の事業期間と延長から回帰分析を行い、当初案の事業期間を推計した。この点については今後の課題としたい。

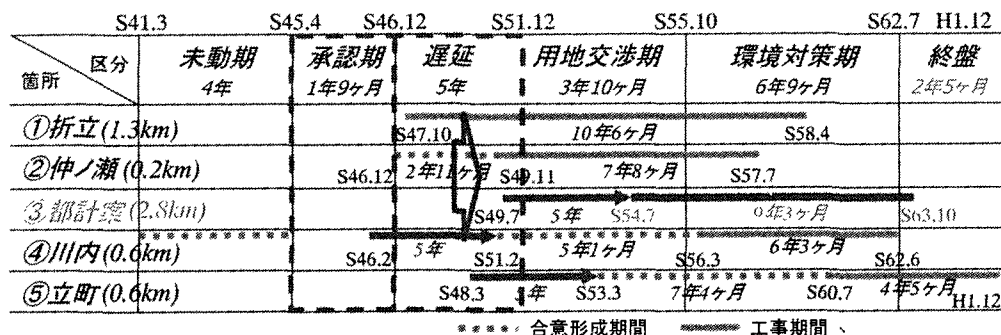


図-13 当初案の仮想スケジュール

仙台西道路の当初案の仮想スケジュールについては、実際案のスケジュールと比べて、以下の点が異なる。

- トンネルから土工への構造変更に伴い、事業費が31%縮減すると同時に、工事期間も38%短縮。
- 通過する集落の用地交渉に5年程度の年月を要すると仮定。これによって残りの事業も5年ずつ延期する。この結果、最終的に供用は25ヶ月延長すると仮定（図-13）。

(3) 比較結果

当初案の事業費の経年変化を推計することは困難であると考えられる。本研究では、事業期間を用地交渉期、環境対策期、工事終盤などいくつかに分け、当初案の仮想スケジュールにもとづいて各地区の月平均事業費から区分別事業費を試算し、現在価値に割り引いた。

実施案、当初案を計算した結果が図-14及び図-15である。実際案に比べて当初案は、直接工事費で26%低いコストで完成したが、社会的コストを考慮すると14%高い事業となったと試算できた。

(4) 費用便益比との関係

仙台西道路道路の場合、供用後の交通量が大きく、実交通量に基づく便益、実際の費用に基づく便益比(B/C)が3.5と比較的高い事業であった(B/C=3.5)。このため、機会損失の試算結果が大きくなり、長大トンネルによって費用が増大しても、最終的にはコストが逆転した。

道路事業の場合、平成11年度及び平成12年度に新規採択された直轄事業、補助事業のB/Cの平均は2.9

である。新規採択時の費用は、計画当初の見積もりであり、事業採択後の様々な段階の様々な要因で事業費

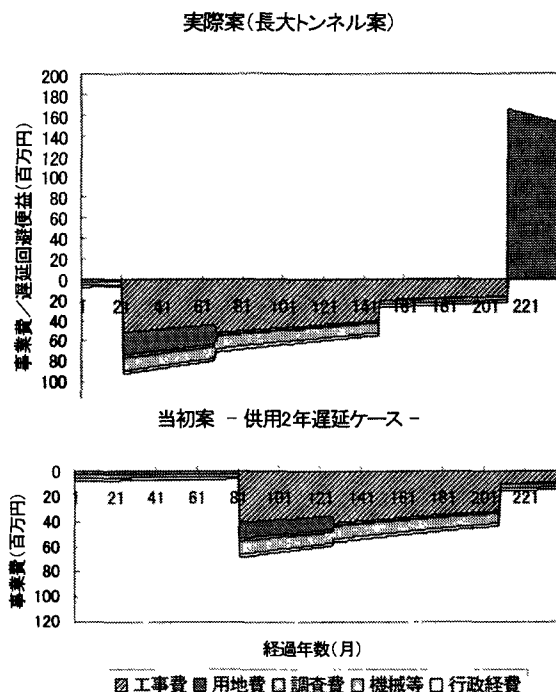


図-14 費用比較内訳

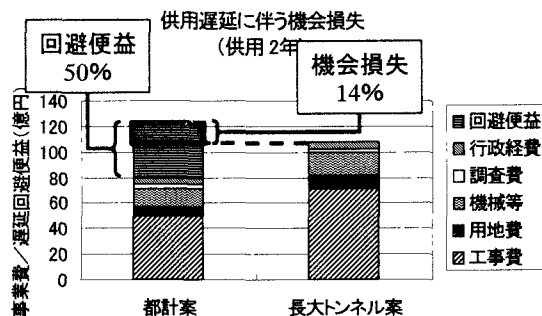


図-15 両案の比較

が増加していくことを考えると、これら事業の最終的な B/C は 2.9 から更に低くなることが予想される。仙台西道路事業は平成 11 年度及び平成 12 年度事業ト比べてかなり B/C の高いプロジェクトであると考えられる。

(5) まとめ

本ケーススタディの場合、社会的コストを考慮すると実際案に対して当初案の方が 14% 程度割高の案になるとの試算結果を得た。

ただし、この試算結果は、供用後の交通量によって結果が大きく左右される。本ケースの場合、もし交通量が実績の 1/2 程度であれば、社会的コストを考慮しても当初案の方が割安となることが予想される。

結局のところ、1) 供用後の便益を正確に見積もること、2) 工事費を正確に見積もること、3) 事業完了に要する期間を的確に予測すること、の 3 点が、機会損失を含めた社会的コストの最小化を行うために必要な条件であるといえる。

6. 維持補修

前章までのケーススタディは道路建設を対象としたものであったが、本ケーススタディは維持管理を対象としている。道路の維持管理業務のうち最も大きなウェイトを占めるのは舗装工事であり、舗装工事を対象にケーススタディを行った。

(1) 対象工事

ケーススタディの対象となった工事は、一般国道の 15 号線東京都大田区東六郷地先で行われた夜間 2 車線規制の舗装工事であった (図-16)。

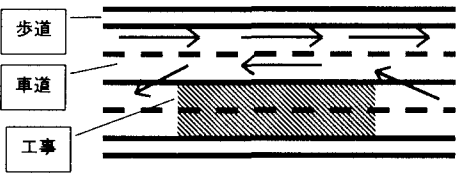


図-16 工事概要

ケーススタディ実施にあたって前提となるデータは、交通量、走行速度、騒音の実測データを用いた。時間当りの最大交通量は、上り下りとも 1,000 台前後で、1 車線あたりの交通容量に比べて少ない (図-17)。このため、実際の工事において渋滞が発生しなかった。

旅行速度については、下りの工事区間の速度が低下しているが、現地における観察の結果、これは渋滞による低下ではなく車線変更に伴う低下であると判断された (図-18)。騒音に対する工事の影響については如実に現れている (図-19)。

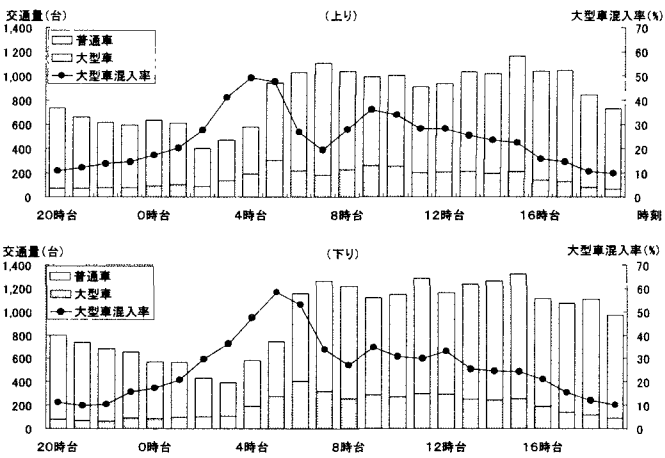


図 17 交通量調査結果

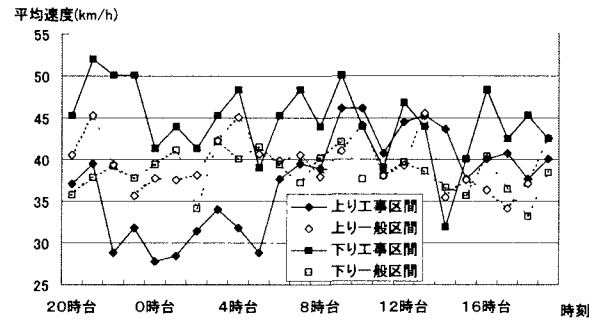


図 18 走行速度調査結果

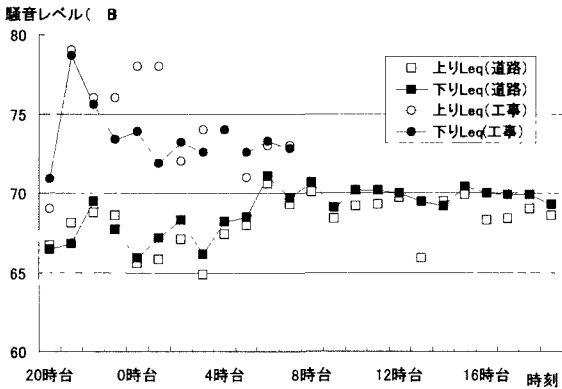


図 19 騒音調査結果

(2) 直接工事費の比較

まず、工事の直接コストについて、工事時間（夜間、昼間、全日）、車線規制形態（1車線、2車線）の6パターンを想定して直接工事費を試算した（表－2）。

表－2 直接工事

ケース	工事形態	規制形態	工事費(千円)	規制期間(日)
1	夜間	夜間2車線	175,118	50
2	"	夜間1車線	175,118	50
3	昼間	全日2車線	122,079	49
4	"	全日1車線	122,857	51
5	全日	全日2車線	123,300	25
6	"	全日1車線	124,078	26

(3) 社会的コスト

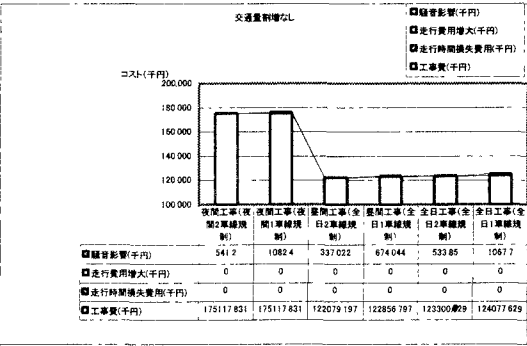
次に、社会的コストについては、道路投資の評価に関する指針（案）に基づき、走行時間増大、走行費用増大、騒音影響の増大につき試算を行った（図－20）。交通事故については、工事期間中に実際に事故が生じなかったため、交通事故による損失は発生しなかったものとした。大気汚染及び地球温暖化についてはデータが不十分であるため、対象外とした。試算の結果、渋滞が生じなかったために、社会的コストの増加はほとんど見られないとの結果となり、昼間に交通規制を行う工法がコスト最小となることが判明した。

対象となった区間では、工事中であっても渋滞が発生しなかったが、道路工事に伴い渋滞が発生することは多くある。そこで、交通量を1.4倍と多めに設定することで、昼間に渋滞が発生する状況を想定して試算を行った（図－21）。この場合には、夜間に交通規制を行う工法がコスト最小となった。

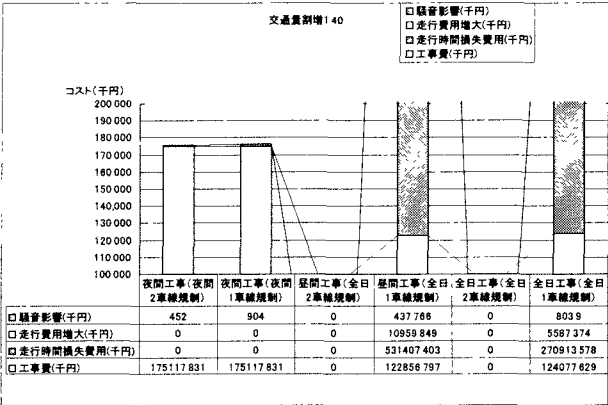
(4) まとめ

本ケーススタディでは、社会的損失を考慮した場合、交通量の多寡によりコスト最小工法が変化することがわかった。

維持補修工事の場合、建設と比較した場合、1)供用後の便益を正確に見積もること、2)工事費を正確に見積もること、3)事業完了に要する期間を的確に予測すること、の3点が比較的容易である。このため、今後は本ケース・スタディで用いた手法を用いて、実際の工事についても、社会的コストも含めたコスト最小工法を選択していくことが可能になると考えられる。



図－20 渋滞が発生しない場合



図－21 渋滞が発生する場合

7. 総まとめ

本稿においては、主として機会損失に着目して、社会的損失を含めたコストが最小となるパターンについて考察を行った。

仙台北道路を対象とした道路整備事業のケーススタディの場合について、工事が遅延することによる機械損失と工事費の増大との比較を行った。その結果、供用による便益が大きく見込まれることから、長大トンネル案の方が社会的経費を含めた経費が少ないことが判明した。しかしながら本ケースの場合、仮に交通量が2分の一であれば当初案の方が社会的経費を含めた経費が少ないことも同時に判明した。

一般国道15号を対象とした道路維持補修事業のケーススタディの場合について、夜間工事を行う場合と昼間工事を行う場合についてコスト比較を行った。その結果、昼間工事を行っても渋滞が見込まれないことから、昼間工事の方が社会的経費を含めた経費が少ないことが判明した。しかしながら、本ケースの場合交通量が1.4倍程度であれば、夜間工事の方が社会的経費を含めた経費が少ないことも同時に判明した。

これらのケースステディの結果、最小コストとなるパターンを選択するためには、次の作業が必要な事が判明した。1)当該事業の実施によって発生（損失）する便益、2)当該事業の直接工事費、3)事業実施に要する期間を把握したうえで、社会的コストと直接コストの和を算出する。

今後、公共事業を実施していくにあたっては単純に直接コストが最小となる場合を選択するのではなく、社会的コストを含めた費用が最小となるよう判断を行う必要があることが明らかとなった。つまり、社会的

負担を考慮すれば、総工事費の削減のみならず機会損失も含めて判断することが必要である。

【参考文献】

- 1) 建設省仙台工事事務所、仙台西道路工事誌[工事編]
- 2) 建設省仙台工事事務所、仙台西道路工事誌[座談会編]
- 3) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編、道路投資の評価に関する指針（案）

Study on Cost Minimization including Opportunity Cost in Road Project

By Shinri SONE, Hijiri HASHIMOTO, Hirofumi YOTSUTSUJI

This paper is to study about the way to minimize the total cost, including opportunity cost, of public works. The author compares the costs between of short-time high-construction-cost case and of long-time and low-construction-cost case, in an existed road construction project. The author also compares the costs between of daytime maintenance and of nighttime maintenance, in existed road maintenance.

From these comparisons, the author finds out that in order to select minimum cost case it is necessary to 1) estimate the benefit from the project, 2) calculate the direct cost of the project and 3) forecast the duration of the project. In-house engineers have to select the best way with considering cost minimization including opportunity cost.