

自然環境管理を主眼とした道路構造再検討の一事例と最適化作業の課題点

A STUDY FOR THE DESIGNING OF THE ROAD STRUCTURE FOR THE ENVIRONMENTAL
MANAGEMENT, AND THE SUBJECT OF THE OPTIMIZATION

坪村健二*・飯山かほり**・廣瀬彰則***

Kenji TSUBOMURA, Kahori IYAMA and Akinori HIROSE

*技術士 中央復建コンサルタンツ(株) (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10)

**工修 中央復建コンサルタンツ(株) (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10)

***博(工) 中央復建コンサルタンツ(株) (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10)

There are many restricted conditions in the designing new road structure. In many cases, restricted conditions serve as a relation of a trade-off mutually. We take in LIFE CYCLE COST and we have solved by the COST-BENEFIT ANALYSIS to this problem in recent years. Now, we have to deal with serious environmental conditions.

We considered improving road structure by making protection of a precious plant into conditions. In this paper, we introduce about arrangement of a demand performance and introduce about the examination subject and measure in carried-out the design.

Key Words : environmental protection, precious plant, v-leg rigid-frame bridge

1. はじめに

新設道路計画における道路構造検討局面では、多様な制約条件が存在し、かつそれらが互いにトレードオフの関係となっている場合が多い。

例えば、「地形・地質条件と道路線形条件」あるいは、「交差条件と用地条件」等はたびたび相反する制約条件として検討される。

この問題に対して、近年の構造決定手法としてはライフサイクルコストを考慮した費用便益分析による手法が一般化している。¹⁾ 例えば道路計画位置に地質上問題のある部分がある場合、①その部分を避け道路線形を迂回させる：結果として道路延長増によりコストが増える、②道路線形を直線とし基礎工コストを増やす、といった①②両ケースのコスト比較を行い、決定する方法である。

しかし貴重な動植物保護といった重大な自然環境条件が存在する場合などでは、これを絶対条件として取り扱わなければならない場面がある。この場合環境条件対象として以下の2通りが考えられ、また、両者の違いにより対応方針が変わってくる場合がある。

- ・ 貴重動植物そのものが絶対条件となっている場合
- ・ 貴重動植物を生育する環境が絶対条件となっている場合

通常、道路構造計画問題は、多くの制約条件が互いに組み合わさった多目的最適解探索問題となるため、検討ケースは膨大な量となる。この問題に対し、1つ以上の条件が「絶対的条件」となると、組合せ検討ケースは大きく減少することが予測される。しかしながら本稿の事例では検討作業の結果として、通常あまり用いられない「特殊な橋梁形式」を採用するに至っている。この要因として、絶対的な条件がない構造形式計画の場合には、各々の制約条件に対して規格やマニュアルによる、ある意味で“限定された”最適化作業を行う傾向があり、「特殊な（道路）橋梁形式」は選択されにくいという状況が一般的となっていることがあげられる。

本稿では、事業実施段階で発見された貴重植物の保護を絶対条件に、道路構造そのものの見直しに伴って実施された橋梁構造への変更の際して、その要求性能を整理し、実施した計画・設計における検討課題と対策について紹介し、このような場面での最適化の課題について述べるものとする。

2. 道路構造見直しの経緯

対象とする路線は、旧国道と主要地方道とを繋ぐ新設町道である。旧国道側起点部は山裾に沿う形で切土もし

くは盛土による土構造で計画されている．さらに高低差15～20m程度を有する小谷を挟んで終点方へトンネルが計画されている．本稿はこの小谷を横過する道路構造検討を対象としている．

本道路構造は当初盛土構造により計画されていたが，実施設計段階において，この小谷頂上の尾根部に「兵庫県レッドデータブック（平成7年版）」²⁾貴重種Cランク指定の貴重植物『カタクリ』の群生が認められ，これらの保護を目的として道路構造の見直しを行った．

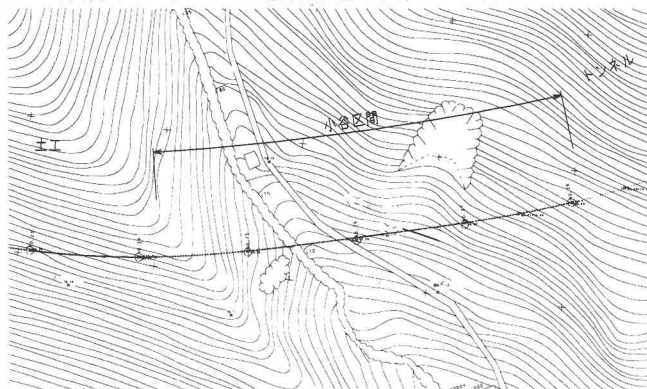


図-1 地形図

3. 現環境の把握

道路計画検討の前提条件となる貴重植物の生育状況，ならびに現環境状況を調査した．カタクリの生育状況を図-2に，調査結果の概要を表-1に示す．

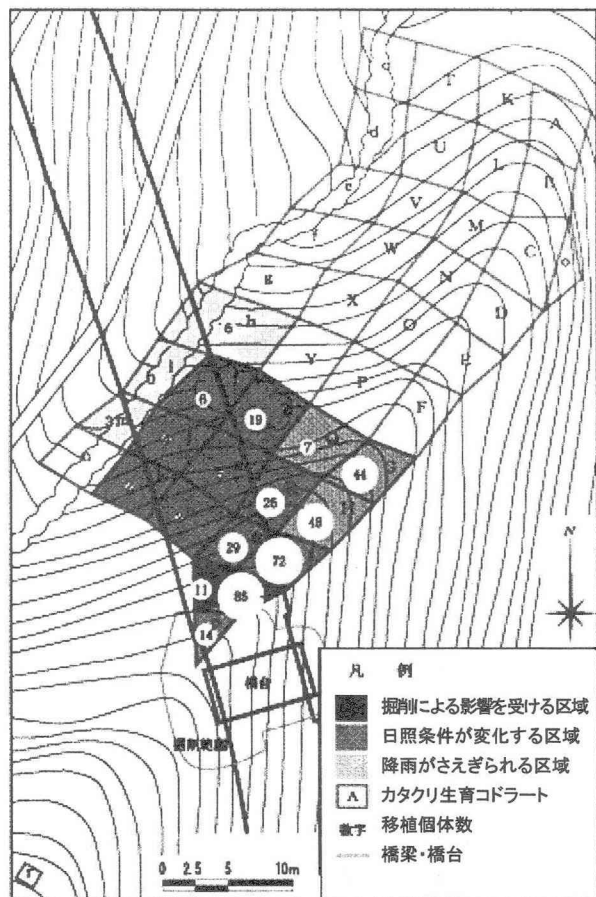


図-2 本地点におけるカタクリの生育状況

表-1 カタクリ生育状況調査結果

調査項目	調査結果
固体分布状況	平成12年 60個 平成13年 33個
開花，結実状況	平成12年 開花：5個，結実：2個 平成13年 開花：11個，結実：9個
照度調査	相対照度 13～30% 積算日射量 3～8 MJ/m ²
土壌調査	含水比 尾根～斜面上部 15～35% 斜面中～下部 13～21%

調査結果よりカタクリの生育状況，本地点における環境について以下に列記した．

- ・ 分布状況はこの2カ年で減少しているものの開花，結実数は，大幅に増加している．
- ・ 生育地付近の林床は全体的に暗く日照が不足している．
- ・ 尾根部は比較的日照条件がよい．
- ・ 尾根部は比較的含水が多い．
- ・ したがって本調査値のカタクリは，尾根に多く分布し，開花個体も尾根に多い状況であった．
- ・ 開花，結実の割合，照度，土壌水分どれを見ても，カタクリの環境としては不足している傾向があり，一部となる尾根部を除くと生育環境としては特別上位のものではないと推測できる．

4. 要求性能の整理

道路計画時の要求性能には様々なものがある．橋梁構造の場合，

「事業費の最小化」（要求性能 i）

「自然環境変化の最小化」（要求性能 ii）

等については，通常検討されるべき要求性能である．

さらに本稿においては「貴重植物カタクリの保護，生育」と言う要求性能が付加されている．以下カタクリの保護，生育を目的とした道路構造検討時の条件＝具体的な要求性能を整理した．

「要求性能Ⅰ 直接影響の最小化」

今回調査において生育が認められた場所への構造物の侵入を最小化する．施工時の掘削等による工事影響については，移植・工事完成後再移植で対応を図れる場合は直接影響を及ぼすとは考えないものとする．

「要求性能Ⅱ 日照と降雨の遮蔽の最小化」

今回調査において生育が認められた場所への日照と降雨の遮蔽を最小化する．

「要求性能Ⅲ 土壌環境変化の最小化」

今回調査において生育が認められた場所の土壌変化を最小化する．

5. 要求性能による道路構造の決定

基本構造を要求性能Ⅰにより整理した。

直接影響を0とする方法としては、ルートの変更しかないが、路線の一部工事着手が行われており、学識経験者を交えた検討会において、道路構造を検討することで、大幅な計画ルートの変更を行うことなく要求性能を満足することが可能と判断された。このため現ルートのまま貴重植物保護を絶対条件として、構造形式を変更することにより対応するものとした。

道路構造は当初盛土による「土構造」で計画されていたが要求性能Ⅰである育成地大部分への直接影響が避けられず、「橋梁構造」として、設定した要求性能を満足する形式や形状を検討した。

6. 橋梁構造での検討課題の抽出

橋梁構造による要求性能を満足するために検討すべき課題を抽出した。

(通常考えるべき要求性能)

「要求性能ⅰ＝事業費の最小化」

- ・ 橋台位置
- ・ 橋梁形式、支間割

「要求性能ⅱ＝自然環境変化の最小化」

- ・ 下部・基礎工形式や形状

(貴重植物による特別な要求性能)

「要求性能Ⅰ＝直接影響の最小化」

- ・ 橋台位置
- ・ 橋脚位置

これらは、橋梁の地盤との接続点であり、完成形での影響については避ける必要がある。

「要求性能Ⅱ＝日照と降雨の遮断の最小化」

- ・ 構造幅

「要求性能Ⅲ＝土壌環境の変化の最小化」

- ・ 橋台位置
- ・ 橋脚位置

これらについては、施工時における地盤の掘削影響と完成形・施工時における水みちの閉鎖について、避ける必要がある。

- ・ 下部・基礎工の施工方法

主に下部工、基礎工の施工時に発生する濁水は土壌環境に影響を与えるのでその施工方法を検討する。

- ・ 橋面排水処理方法

橋梁他への雨水は、道路上の粉塵、油脂等を混入し流出することから、高欄や伸縮装置等からの漏水により、土壌環境が低下することが考えられるため、排水処理方法を検討する必要がある。

7. 対策方法の検討

7.1 橋台位置の検討

要求性能ⅰ、Ⅰ、Ⅲに着目し、経済性とカタクリ保護

に優れた橋台位置を検討した。

要求性能Ⅰにより、カタクリ生育地に支障しない位置とすると同時に、要求性能Ⅲに着目しカタクリへの水脈を阻害しないことにも配慮した。また要求性能Ⅰ、Ⅲを満足したうえで要求性能ⅰに配慮し橋長を最小化することでコストの最小化にも配慮した。結果としては尾根線を挟んでカタクリ生育地より反対側に橋台を位置することでカタクリへの水脈を阻害せず、生育地土壌への影響を抑えた。

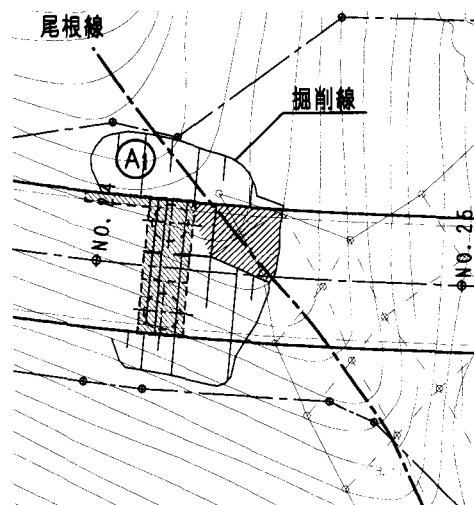


図-3 A1 橋台位置のコントロール

A2 橋台については、要求性能ⅰに配慮し経済比較に基づく比較を行って位置決定を行った。この結果、橋長は79mとなった。

7.2 橋梁形式の検討

1) 支間割検討

橋種と支間割について要求性能に着目し以下の観点で抽出した。

表-2 支間割検討時の要求性能着目点

要求性能	着目点
要求性能ⅰ	ライフサイクルコストの最小化
要求性能Ⅰ	橋脚位置をカタクリ生育地に支障させない
要求性能Ⅱ	構造幅が最小値(＝道路必要幅)である
要求性能Ⅲ	カタクリへ水分を供給している水脈を阻害しない

支間割案として考えられる表-3のパターンから、要求性能を評価した。形状3、4については、要求性能Ⅰ、Ⅱ、Ⅲのいずれかを満足しないため、形式<1>、<2>、<5>を比較形式案として抽出した。

2) 橋種検討結果

抽出した<1>、<2>、<5>3橋種に対して比較検討を行った結果、経済性に優れる鋼V脚ラーメン橋を採用した(表-4)。

表-3 橋梁支間割案の抽出

ケース	支間数	支間パターン	橋種例	要求性能による評価			抽出
				i	ii	iii	
<形状 1>	1 支間案		PC 吊床版橋	○	○	○	○
<形状 2>	2 支間案		鋼 RC 床版鈑桁橋	○	○	○	○
<形状 3>	3 支間案		鋼 RC 鈑桁 PC ポストテンション T 桁橋	×	○	×	
<形状 4>	同上		鋼 π 型ラーメン橋 中路アーチ橋	×	△	×	
<形状 5>	同上		鋼 V 脚ラーメン橋	○	○	○	○
平面図							

表-4 橋梁形式選出表

ケース	第 1 案／PC 吊床版橋	第 2 案／鋼 RC 床版鈑桁橋	第 3 案／鋼 V 脚ラーメン橋
側面形状			
事業費	382,500 千円	305,500 千円	289,000 千円
選出			◎

7.3 下部工構造の検討

1) A1 橋台

A1 橋台は、要求性能 i, ii の観点より、事業費の最小化、自然環境の変化、地形改変を極力避けるために、基礎規模の縮小化、形状の工夫を行った。最小化を図るには、以下が考えられる。

- ・ 慣性力の低減
- ・ 基礎規模の縮小、形状の工夫

前者への対処としては、橋軸方向の支承条件を可動とし上部工慣性力を低減し、後者への対処としては、斜面における構造物掘削を最小化するべく、橋軸方向は単列深礎としてフーチング幅を縮小、直角方向は段差フーチング形式を採用している。

結果として下部工規模および掘削量が最小化され、事業費の面でも環境保全の面においても要求性能を満足する構造となった。

2) P1 橋脚および A2 橋台

P1 橋脚・A2 橋台は、A1 橋台と同様要求性能 i, ii の観点より、基礎規模の縮小化、形状の工夫を行った。

特に中間橋脚で規模の小さい P1 橋脚については大口径深礎 $\phi 3.0\text{m}$ を採用し、深礎天端面円周方向に沿って地形の山側に竹割式の土留壁を設けることで、完成後現地形に復旧できるよう配慮することで地形改変を小さくした。これは景観向上にも寄与していると考えている。

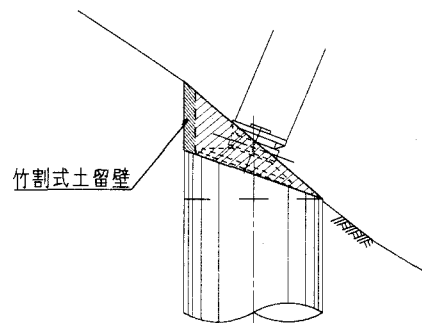


図-4 P1 橋脚竹割式土留壁

7.4 その他の検討

当地は寒冷地であり冬期における凍結防止剤（塩化ナトリウム、塩化カルシウム）を散布する可能性がある。道路への雨水は粉塵等の他に、凍結防止剤を含む可能性もあり、貴重植物など周辺環境への悪影響³⁾やコンクリート構造物に対する塩害の発生が懸念される。ここで要求性能Ⅲに配慮し、「土壌環境変化の最小化」を考え、下記の周辺環境対策を採用した。

A. 高欄形式

高欄は通常使用される鋼製ビーム型でなく“全壁式”を採用することで、橋面排水の幅員外への飛散を防ぐものとした。

B. 排水系統

橋台部の雨水排水処理については、カタクリ生育地に排水を流さないことに着目し下記の工夫を行った。

- ・ 橋座への排水は躯体前面に落とさないよう排水工を設置した。
- ・ 排水工端末は尾根より十分な離隔を取れるところまで導いた。

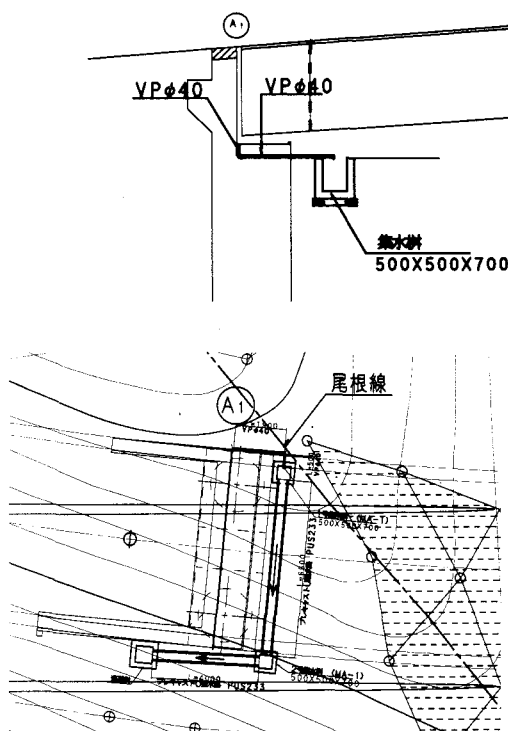


図-5 橋台部の排水計画

C. 伸縮装置

伸縮装置は非排水型を採用し止水材を設けることで、橋面下への雨水排水落下を防ぐ構造とした。

D. 融雪装置

縦断線形がトンネルのある終点方より起点方へ下っていることに着目し、“トンネル湧水を利用した融雪装置”を設けることを検討した。安定した湧水の流出が確保できる限りにおいては、凍結防止剤を使用しない融雪が可能である。

8. 最適化作業の課題

本稿では貴重植物の保護という特別な環境制約条件を付与する結果として通常用いられることの少ない「鋼V脚ラーメン橋形式」を採用するに至っている。

しかし、ここに至る経緯を再整理すると、以下の矛盾が生じていることが判明した。

- 環境条件を検討していく中で「鋼V脚ラーメン橋形式」案が抽出された。
- しかし、当形式の採用は、環境条件により一義的に決定されたわけではない。
- 環境条件を付与したことで有利になった面はあるが、他の形式の中には同様に有利になった形式もあった。
- 採用の決め手は経済性である。当形式は橋梁比較案の内でも経済性に優れていた。
- 環境条件がなかったとしても全案の中で最も経済性に優れている。
- 特殊な制約条件を与えられたことで、形式案の幅を広げる必要性に迫られたために抽出されたということが考えられる。

通常の形式選定においては、担当技術者の限られた経験や、計画されている地域で実績のある構造を選択しているといったような“意識外の制約条件”というフィルターを通した解空間における最適解探索をしている可能性がある。

経験等に裏付けられた最適解探索を行っているつもりが、実は『選定の幅を狭めているあるいは抽出の方針を見落としている』可能性がある。

9. まとめ

本稿では、環境問題に端を発した根本的な見直しによる道路構造計画と橋梁環境対策に関する事例紹介を報告した。環境条件という特殊条件の存在により、構造形式や細部構造決定に影響を与えることは当然であるが、結果として制約条件が付されていることによって、構造の検討幅を広げていることとなり、橋梁構造形式選定における最適化手法の難しさを示すとともに、性能設計の可能性を示唆する結果となった。

最適化作業のシステム化にあたり案抽出作業は最大の課題点の1つである。周知のとおり道路構造の形式は日進月歩であり、また構造案は年々増加しており、その作

業は経験と試算の繰り返しに頼られているのが現状である。今後においても最適案抽出時の選出方法について研究すべき課題が山積している。

なお、本地点における貴重植物の生育環境は必ずしも良好な状態とは言えなかったため、事前に環境影響評価、いわゆるミティゲーションの考え方を導入し、米国国家環境政策法(NEPA)⁴⁾における環境保全対策に従って、分類実行可能な範囲で環境影響を回避・低減するための対策がなされているか否かについても評価を行っている)。また、工事終了後にカタクリの移植固体を元の生育地内に植栽するという修正(影響を受けた環境そのもとを修復、再生または回避することによる影響を修正すること)も検討している。

本路線の施工完了後における事後調査計画は重要であるが、植物の生育状況と橋梁の施工との関連は必ずしも確定的とは言えないのが実態である。学識経験者の指導を仰ぎ、また関連機関との協議調整を踏まえた事後調査

計画の立案、事後調査の実施を行うことが肝要であるとともに、必要に応じてさらなる環境保全対策を実施することが求められる。

参考文献

- ¹⁾ 赤石沢総光, 吉田郁政, 安田登, 宮本幸始: 性能設計を活用したR C構造物の保守頻度・時期の最適化に関する研究, 構造工学論文集 Vol. 47A II, pp. 277-284, 土木学会, 2001. 3
- ²⁾ 財団法人ひょうご環境創造協会: 改訂・兵庫の貴重な自然―兵庫県版レッドデータブック 2003―, 2003. 3.
- ³⁾ 養父志及夫, 重松敏則, 高橋理喜男: カタクリの群落の保全管理に必要な生態的諸条件, 造園雑誌 Vol. 48 No. 5, pp. 157-162, 1985. 3
- ⁴⁾ 文献: 山村悦夫『米国国家環境政策法と環境アセスメント』環境情報科学 1996, 25-4