

橋梁設計空間と要求性能に関する一考察

A CONSIDERATION ON IMPORTANCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON A BRIDGE DESIGN

飯山かほり*・坪村健二**・廣瀬彰則***

Kahori Iiyama, Kenji Tsubomura and Akinori Hirose

*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)

**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)

***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)

Generally, in case we plan the structure form of a bridge, we have to consider so many conditions, for example, a road alignment, right-of-way limit and geographical feature etc. In addition, the structure must have a sufficient performance as a bridge, so we have to follow the seismic design method. If some design conditions are expanded, we can select a diverse form as a bridge structure. And then the possibility of bridge designs is sharply expanded. In this paper, authors show an example that a more rational bridge form was selected, it was caused by expansion of right-of-way limit.

Key Words : Bridge design, Demand performance, Cost reduction, Lot condition

1. はじめに

一般に橋梁の構造形式検討段階では、線形や用地境界、地形や地域特性、用途、などの複雑な制約条件で構成される多次元的『設計空間』の中で、要求性能を満たす形式を抽出し、最適解を選定する手続きがとられる。この際、一部の制約条件が緩和、拡張され『設計空間』が広がると、抽出可能な構造形式も多様化し、設計の可能性や自由度は大幅に拡大する。

本稿では、この一例として橋梁予備設計段階、すなわち橋梁の形式設定時において、用地に関わる制約条件を取り払うことで、より合理的な形式選定が可能となった事例について紹介し、従来の公共事業における設計手順の枠組みをはずした新たな『計画・設計』手法の可能性について考察を加える。

2. 社会的背景

2.1 公共事業の現状

公共事業を取り巻く厳しい社会情勢の中、国土交通省では『コスト構造改革プログラム』¹⁾を策定し、コストの観点から事業の抜本的改革に取り組んでいる。これは事業そのものの全プロセスの見直しを図るものであり、ポイントとしては①事業のスピードアップ②設計の最適化③調達の最適化に主眼がおかれている。このうち、②においては、橋梁計画・設計段階において、土木工事共通仕様書をはじめとする規格を見直しや、地域に応じた構造基準(ローカルルール)の策定、また直轄工事に

ける設計の総点検などが行われている。

このような状況下で、事業を請負う企業に対しては、入札時・設計VEやデザインビルド(設計・施工一括発注方式)をはじめとした新しい技術提案などが求められており、これらの手法は、各地方自治体においてもコスト削減施策として徐々に浸透してきている。

ただし、一口にコストと言っても、その内訳は実に多岐にわたり、事業全体におけるコスト削減方法に対する妥当性の評価、削減率の定量的評価は容易でない。このことから、事業実施の各プロセスにおける情報開示あるいは市民へのアカウンタビリティの履行は今後さらに重要となり、この面でコンサルタントが果たすべき役割も大きい。

2.2 事業段階と設計空間

公共事業においてコンサルタントが主に携わる“計画・設計”プロセスでは、事業の「上流」課程において定められたある設計空間の中で物事を進めていくため、設計にある程度の制約を受けた中で、要求性能を満たし、より合理的な解を抽出している。

具体的には、事業の決定→予備設計による形式決定→詳細設計による詳細な構造形式決定→事業費の算定という手順において、まず、事業決定段階で道路構造や線形、地域条件等により囲まれた『設計空間』が形成され、予備設計段階で特定の基準や規定等により囲まれた『解空間』によって『設計空間』が絞り込まれ、構造形式が選

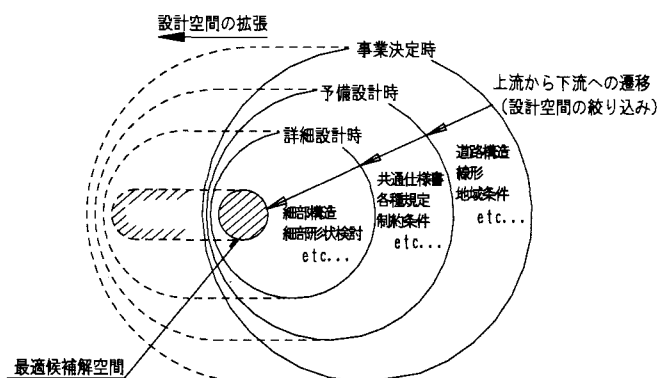


図-1 事業プロセスと設計空間の関係

定される。そしてさらに詳細設計段階で『解空間』から最適解を抽出していくというプロセスが一般的となっている。このように、構造設計においては、設計空間の“絞り込み”というステップを幾度か経て最適解を導き出していくため、逆に設計空間を“拡張”する作業はほとんど伴わないことが通例である。しかし、設計空間あるいは解空間の拡張が通常のプロセスからは考えられなかった最適解を生み、結果的にコスト縮減につながる可能性もある。

2.3 社会情勢と橋梁への要求性能

一方で、近年頻繁に起こっている、また将来的に国内の至る地域で予測されている大規模地震の到来をふまえ、「より安全性・信頼性の高い橋梁整備」が求められている。平成7年に発生した兵庫県南部地震の経験を機に、平成8年には道路橋示方書が全面的に改訂され、さらに平成14年には、コスト縮減をふまえた性能型設計がうたわれるようになるなど、橋梁設計のプロセスは多様化、複雑化、高度化すると同時に、橋梁構造物に要求される耐震安全性、耐久性、ひいては信頼性も、今後ますます高まっていくと考えられる。また、経済性においては言うまでもない。

3. 橋梁計画における最適解の抽出

橋梁計画段階において構造を決定するという行為は、下式に示すように、全体または部分的に離散化された各設計変数 X_i から構成される設計空間 Z の中で行われ、各設計変数の最適解 W_i 、すなわち“部分最適”を抽出し、それらを単純に融合させた解を“全体最適 W_{max} ”とみなしていることが多い。

【設計空間の形成】

$$X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_i = Z \quad (i=1, \dots, n)$$

ここで、 Z : 設計空間

X_i : 設計変数

【最適解の抽出】

設計変数 $X_i \quad (i=1, 2, \dots, I)$

目的関数 $W(X)_{max} = \sum W_i$

制約条件 $X_i \in Z$

これは、相互依存性のない設計変数同士においてはほぼ妥当であると判断できるが、設計変数は相互に影響しあうことも多く、単純に各設計変数に対する部分最適解を寄せ集めるだけでは必ずしも全体最適が得られるとは限らない。むしろそれらはトレードオフの関係になっている場合も多いが、複雑な多次元空間において、実際の全体最適解を導き出すことは時間的、経済的な制約上非常に困難であるのが現状である。

このように、構造形式の選定過程においては、過去の実績や慣習等により、設計空間から解空間を絞り込んでいく動作を正当化し、また部分最適を融合させることが常套手段となっており、逆にこの解空間に“広がりをもたせる”行為はほとんどなされない。しかし、解空間に広がりをもたせることでより合理的な解が得られる場合もある。以降、解空間の拡張がもたらしたユニークな構造形式例について述べる。

4. 構造設計事例

4.1 設計空間の拡張

(1) 橋梁概要

対象とする橋は、急峻な山岳地形に囲まれた距離70m、高さ15m程度の小谷を横架する橋長79.0mの橋梁である。橋梁概要は以下のとおりである。

- ・ 橋 長 79.0m
- ・ 有効幅員 9.27m
- ・ 橋 種 V脚ラーメン橋
- ・ 上部工断面 3主鈎桁 (H=1.6m)
- ・ 下部・基礎工形式

A1 橋台: 逆T式・単列深礎杭 $\phi 2.0$ m

P1 基礎: 山側深礎杭 $\phi 3.0$ m, L=5.0m

谷側深礎杭 $\phi 3.0$ m, L=9.5m

A1 橋台: 逆T式・単列深礎杭 $\phi 3.0$ m

- ・ 支点条件 A1(M) - P1(H) - A1(M)

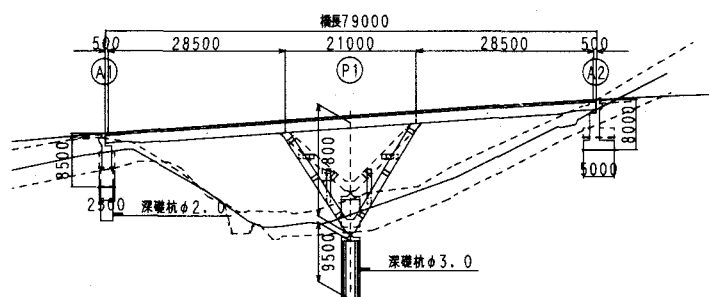


図-2 対象橋梁側面図

(2) 特異な用地条件による設計空間の拡張

橋梁計画段階においては、道路幅員に一定以下の余裕を持たせた用地が取得されているのが一般的であるが、本橋においては、実施設計段階において急遽道路構造が土工から橋梁へと見直されたことが発端となり、結果的に小谷部において道路幅員より大きく広がった用地が取得されている状況となっていた。

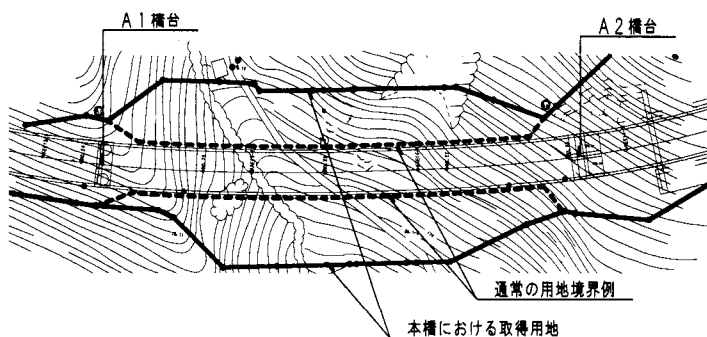


図-3 一般的な用地幅との比較

4.2 設計空間を利用した構造の抽出

一般的なV脚ラーメン橋の橋脚部形状は、橋軸方向側面にV字構造を有するが、横断面には幅員方向の広がりを持たない。しかし本橋については、幅員方向の余剰用地による“設計空間の広がり”という特異条件を活用する目的で、より合理的な構造を検討した。一般的な形状では、急峻な地形条件から橋軸直角方向の地震荷重に対してやや不安定となることも加味し、ここでは幅員方向の用地を利用した下図のような構造を提案した。

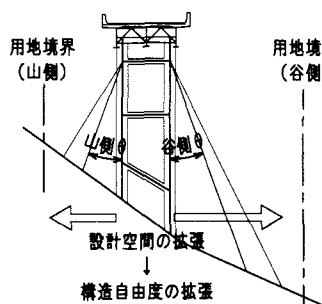


図-4 設計空間を活用した構造形状（脚部横断面図）

具体的な構造的評価指標としては、固有値解析および立体解析により得られた変位および支点反力に着目した。検討ケースおよび解析モデルをそれぞれ表-1、図-5に示す。表-1中の θ は、図-4に示す傾斜方向の角度を表している。

4.3 構造的評価

(1) 振動特性

表-2に、固有値解析結果を示す。全検討ケースにおいて1次振動モードの寄与率が6割以上と高くなっているため、1次振動モードに着目すると、橋軸・橋軸直角

表-1 構造形状検討ケース

検討 ケース	開き角度 θ (°)		下部工配置条件 ($\leftrightarrow$ 直角方向)							
	山側	谷側	25°	20°	10°	0°	10°	20°	25°	
①	0	0								
②	0	10								
③	0	20								
④	0	25								
⑤	10	10								
⑥	20	20								
⑦	25	25								

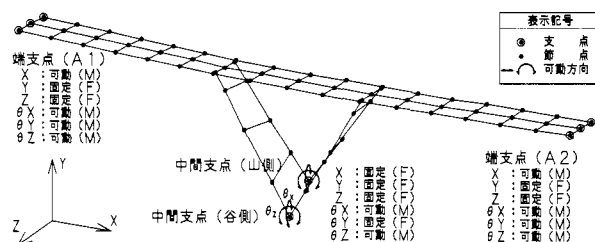


図-5 解析モデル

表-2 各ケースに対する固有1次振動モード

検討 ケース	橋軸方向	T(s)	橋軸直角方向	T(s)
① 両0		1.23 (70.4)		0.63 (80.9)
② 片10		1.21 (71.3)		0.56 (80.4)
③ 片20		1.17 (72.0)		0.50 (77.7)
④ 片25		1.16 (72.3)		0.47 (73.2)
⑤ 両10		1.09 (68.3)		0.47 (80.2)
⑥ 両20		0.96 (65.8)		0.38 (68.8)
⑦ 両25		0.90 (64.1)		0.31 (60.1)

方向ともに、開き角度 θ に比例して短周期化する傾向が見られ、全体として変形しにくい構造となっていることがわかる。ただし、作用地震力は、開き角度 θ に比例して大きくなることが予想される。

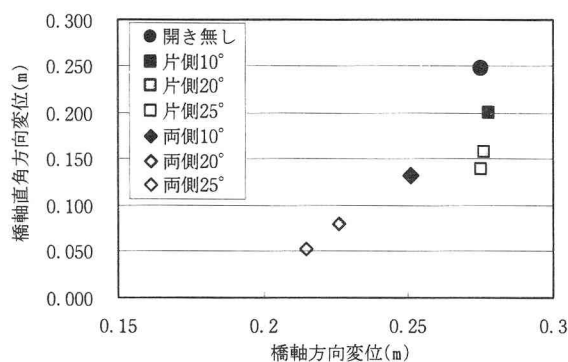


図-6 橋軸および橋軸直角方向最大変位量

(2) 変位量

図-6 に、立体解析結果のうち、最大変位量の分布を示す。ここで、立体解析において用いた設計水平震度は、固有値解析により得られた固有周期を参考に、各ケースに対して、それぞれ静的照査レベルにて最大震度となる地震時保有水平体力法・タイプⅡの震度値としている。

まず、橋軸方向については、開き量無し・谷側のみを開くケースにおいては大きな差異は見られないものの、両側を開くケースにおいては開き角度 θ に比例して全体の変形量も小さくなる。この場合、桁かかり長の縮小、伸縮装置規模の縮小などの効果がある。

橋軸直角方向については、開き角度 θ に比例して全体の変形が小さくなる。幅員方向への地震時安定性能が向上している。

(3) 支点反力

支点反力については、開き角度による影響が顕著に現れる場合として、図-7 に橋軸直角方向山側(←)水平力戴荷時および谷側(→)水平力戴荷時の鉛直反力を示す。ここで、図の鉛直力の正(+)は押込み力、負(-)は引抜き力を表している。

橋軸直角方向戴荷時には、戴荷方向によって橋脚に押込みまたは引抜き力が生じる。しかし、開き角度 θ にほぼ比例して押込み力、引抜き力ともに減少し、変位量の結果と同様、幅員方向への地震時安定性能が向上していると判断できる。

4.4 まとめ

用地制約が緩和され解空間が拡張されたことにより構造に自由度が生じ、結果的に横方向の耐震安定性に優れた形状を抽出することができた。また同時に、基礎構造(ここでは深礎杭)規模が縮小されたことにより、新たな工事用進入路が不要となっただけでなく、永久のり面をほとんど生じることなく現地形へ戻ることが可能となり、全体として主に「より高い構造的な確保」「工事コストの縮減」「環境への配慮」の実現化に至った。

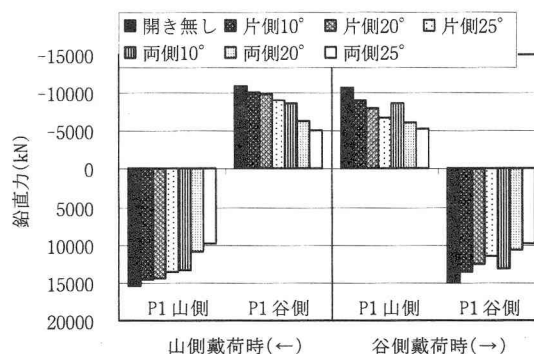


図-7 橋軸直角方向戴荷時 P1 橋脚水平反力

5. おわりに

一般に実施設計段階においては、すでに用地取得が完了しているか取得に向けた協議が終了している場合が多く、また、用地の追加買収は税法上からも困難が伴うことから、用地境界は橋梁計画に対する大きな制約条件となっている場合が多い。しかし、本稿で示したように、特異的な用地の拡張が発端となり優位な構造解が得られた事例は、税法上の優遇措置等、法改正に向けた取り組みも今後大きな課題となり得ることを示唆している。また、現状においても、都市部と地方・山間部の地域によって用地費が大きくことなどを考えれば、地域ごとの事業費特性を考慮した橋梁実施計画を行うなど、コスト縮減への余地は十分に残されているといえる。

橋梁設計においては、各プロセスにて意思決定された成果を引き継いでいくものであり、基本的に下流から上流への見直し検討は困難であった。しかし、例えば詳細設計段階におけるコスト比較によるコストの低減の度合いと、上流側での路線比較等を行う場合のコストの低減の度合いとではオーダーが違うなどからもわかるように、より広い設計空間における見直しが重要となる場合が多い。

予備・詳細設計段階においても、与えられた設計空間の中でのみ設計を進めるのではなく、公共事業の根幹となる上流段階を見据え、前提条件に対し柔軟性を持たせることを常に意識し、幅広い視野に基づく技術提案の履行が今後も重要となってくる。

参考文献

- 1)国土交通省：国土交通省公共事業コスト構造改革プログラム，平成 15 年 3 月
- 2)千々岩浩巳：土木構造物の離散的最適設計法の効率性・信頼性向上に関する基礎的研究
- 3)廣瀬彰則：橋梁の計画・設計問題への人口生命技術の応用に関する研究，平成 14 年 1 月
- 4)財団法人経済調査会：建設マネジメント技術，2003. 2