

斜面上に計画された多径間連続橋の橋梁予備設計

(株) 総合技術コンサルタント ○ 田 中 寛 人

論文要旨

本稿は、斜面上に計画された多径間連続橋を対象に橋梁予備設計を実施したものである。橋梁形式選定に係る要求性能(橋に求められる性能)を、橋の重要度につながる防災計画上の位置付けや代替性、自然災害リスク等について整理したほか、対象橋梁における橋梁計画の前提条件(与条件)を踏まえて検討し、その要求性能に基づいて対象橋梁の計画コンセプトを設定した。計画コンセプトに適合する形式を抽出し、概略設計、工事費算定を行い、最適橋梁形式とその基本的な橋梁諸元を決定した。加えて耐震設計により下部工諸元が決定されることから、全体系動的解析を実施し設計精度の高い下部構造諸元を定め、橋梁形式比較に取り込んだ。

キーワード：多径間連続橋、橋梁予備設計、動的解析

まえがき

過年度の道路予備設計では、A1 橋台位置側面の高さ 8.0m の補強土壁が計画されており、支持地盤の安定対策が必要であった。また、A2 橋台前面には交差条件が無いことから、橋梁区間の短縮・土工化の検討が必要であった。

本稿では、上述した課題に対して橋台位置の検討や橋梁構造の妥当性を確認した上で、橋梁予備設計を実施した。

橋梁予備設計では、計画コンセプトを策定し、概略設計、概略工事費算定、施工計画を行った上で、橋梁形式選定法に基づいて比較評価を実施した。

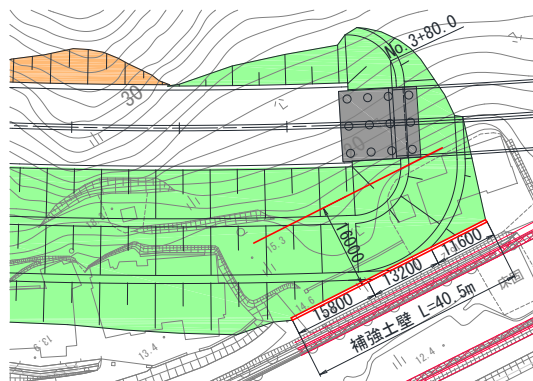


図-1 道路予備設計の橋台位置(平面)

1. 橋梁計画

1.1 課題の抽出

(1) 補強土壁の安定対策

過年度の道路予備設計では、河川管理路横に高さ 8.0m の補強土壁を有する盛土で A1 橋台位置が計画されていた(図-1, 2, 3)。補強土壁高が比較的高いことから、支持地盤の安定対策に加えて補強土壁の床掘や補強材との取り合いを確認した上で橋台位置を設定する必要がある。

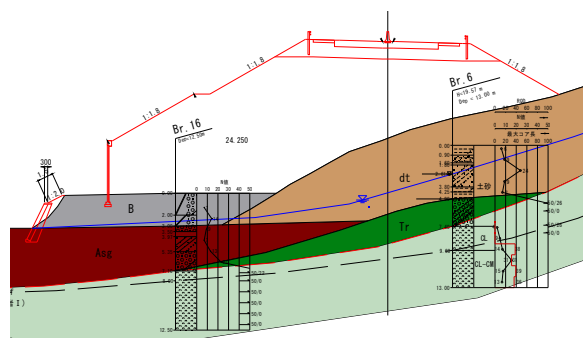


図-2 道路予備設計の橋台位置(断面)

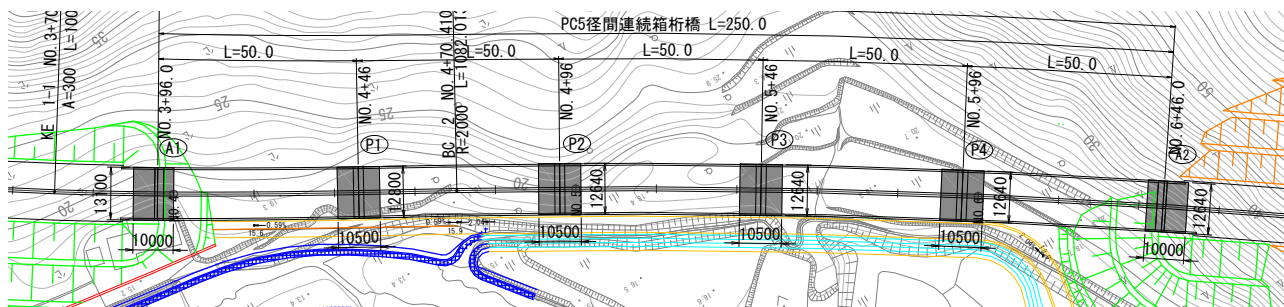


図-3 道路予備設計の橋梁一般図

(2) 河川近接部から A2 橋台側における橋梁区間の妥当性
過年度の道路予備設計では河川近接部から A2 橋台側における構造について、沢水が多い(20~30L/分)こと、並びに基礎地盤が扇状地堆積物であるため、潜伏した沢水を管渠に集水して横断排水することが困難なことから、橋梁構造としていた。

しかし、A2 橋台前面には交差条件が無いことから、コスト削減の観点で橋台高 20m 以上の箱式橋台を適用した橋長短縮の検討が必要であった。

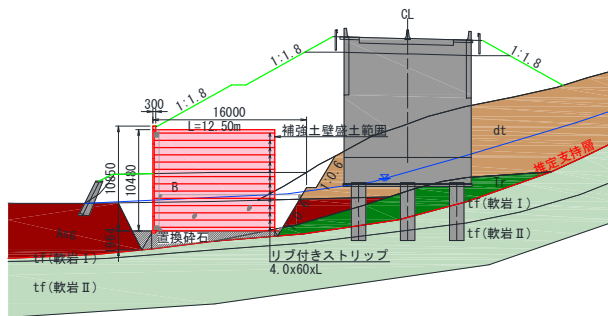


図-4 第1案：土羽+補強土壁（断面）

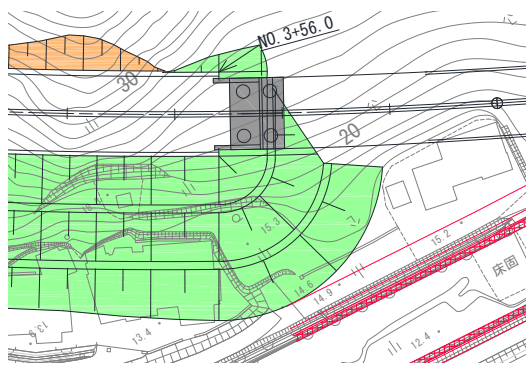


図-5 第2案：土羽（平面）

1.2 A1 橋台位置の検討

前項で示した課題に対して、盛土擁壁(補強土壁)が不要となる橋台位置との比較検討を実施した。比較結果を表-1に示す。

表-1 盛土構造の違いによる橋台位置の検討

項目	第1案：土羽+補強土壁	第2案：土羽
橋台高	H=15.0m	H=9.0m
位置	No. 3+80.0	No. 3+56.0 (+24m)
コントロール	補強土壁の床掘を橋台基礎杭に影響させない	盛土法尻を河川管理路に影響させない
概算工費評価	173百万円 (1.18) △	146百万円 (1.00) ○
概要図	図-4	図-5

※概算工費は、上部工・下部工・補強土壁工(地盤安定対策を含む)

第1案は、支持地盤の安定対策(地盤のすべり)のため、擁壁高を高くして河床より深い位置に根入れが必要で、さらに置き換え基礎も必要となり不経済となる。加えて杭基礎の側面を掘削・埋め戻すことになり、水平抵抗を低減させるなど、杭基礎の構造計算に影響を及ぼす。このため、構造的・経済性に優位な第2案を選定した。

なお、A1 橋台基礎形式は斜面上で地表面から約 6.0m の深さに支持層が出現するため、直接基礎と比較の上、掘削範囲(地形改変)が小さく経済的な深礎基礎をとした。

1.3 A2 橋台位置の検討

逆 T 式橋台の最前位置と箱式橋台で橋梁区間の短縮・土工化を図った位置との比較検討を行った。(表-2、図-6)

表-2 A2 橋台位置の検討 (橋梁全体での比較)

項目	第1案：逆 T 式橋台	第2案：箱式橋台+高盛土
橋台高	H=15.0m	H=23.0m
上部工	987	668
下部工	599	676
盛土	—	250
合計	1,586百万円 (1.00)	1,594百万円 (1.01)
評価	○	△

比較検討を行った結果、盛土計画条件(高盛土対策)に対し、第2案は不経済となる。また、箱式橋台は逆 T 式橋台に比べて施工性(過密配筋)・維持管理性に劣る。

このため、里道及び水路の改変(環境影響)も少ない「第1案：逆 T 式橋台」を選定した。

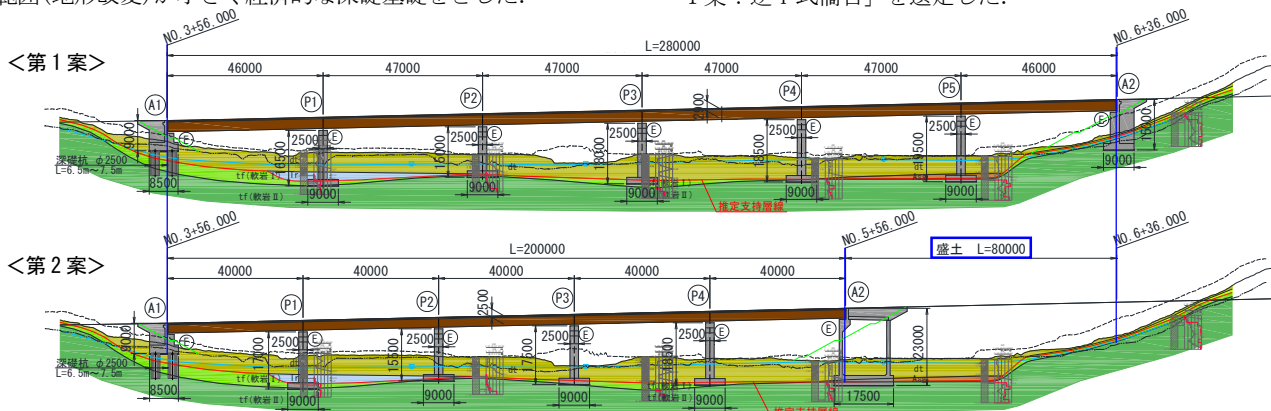


図-6 A2 橋台位置の検討

以上より、本橋の橋長は 280m (No. 3+56.0~No. 6+36.0) とした。

1.4 橋脚基礎形式の検討

(1) 基礎形式の抽出

表-3 に示す地形・地質条件を考慮し本架橋地点に適用性の高い橋脚基礎形式を比較案として抽出した。

表-3 適用基礎形式の抽出条件

地盤条件	地形・地質条件
支持層までの状態	中間層にφ150mm以上の玉石が存在
支持層の状態	支持層深度は、GL-6m~7m程度で凝灰岩
地下水位の状態	地下水位は地表面付近 (最高でGL-0.15m付近にて確認)

橋脚は支持層までの深度を勘案すると、直接基礎と杭基礎の両方が考えられる。基礎形式は「直接基礎」と「場所打ち杭工法(全旋回オールケーシング工法)」で比較を実施した。なお、地下水位が比較的高いことから直接基礎及び杭基礎のいずれの場合も土留掘削とした。

(2) 検討結果

直接基礎と場所打ち杭基礎を比較した結果(図-7)、以下に示す内容により「直接基礎」を最適基礎形式として選定した。

1) 経済性

場所打ち杭基礎は直接基礎と比べて底版寸法が大きくなり、それに伴う仮設費も増加するため不経済となる。

2) 杭基礎の適用範囲

道路橋示方書¹⁾では、各基礎の設計法の適用範囲が示され、杭基礎の場合、 $\beta \cdot Le > 1$ となる。ここで、 β は基礎の特性値で、 Le は基礎の有効尾根入れ長さ(設計上の地盤面から支持層上面までの深さ)を示す。対象橋脚について、照査した結果 $\beta \cdot Le < 1$ となるため、杭基礎の設計法の適用範囲外となる。

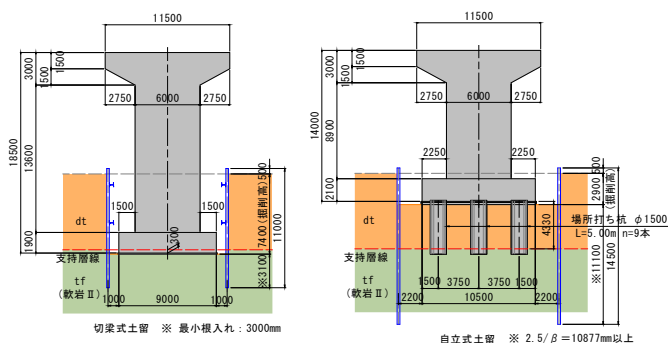


図-7 橋脚基礎形式比較

2. 橋梁形式比較

2.1 要求性能の設定と計画コンセプト

橋梁形式に係る要求性能~対象橋梁の計画コンセプトを設定した。以下に橋梁計画の与条件および要求性能と計画コンセプトを示す。(表-4, 5)

表-4 橋梁計画の与条件

<橋の重要度>
・重要物流道路
・緊急輸送道路
<架橋地特有の条件>
・交差条件なし
・河川と近接
・機能復旧(里道,水路)
・I種地盤(液状化なし)
・積雪寒冷地域(凍結防止剤散布)

表-5 要求性能と計画コンセプト

要求性能	計画コンセプト
・不測の事態でも橋が致命的な状態に至らない	⇒耐災害性が高い橋梁
・緊急時の点検性を確保する	
・橋台施工時による地形改変をなるべく抑える	⇒施工性がよく経済的な橋梁
・施工の確実性に配慮しつつ経済的であること	
・維持簡易(日常点検,定期点検)がし易いこと	

2.2 橋梁形式における評価項目・配点

橋梁形式の選定は、経済性、施工性、維持管理性等を考慮した総合的判断とし、具体的に評価項目、配点、評価の方法が示されている設計要領(道路編)北陸地方整備局²⁾を参考に、評価項目・配点を整理した。なお、本橋は交差条件や施工条件の制約が無いことから、二次比較の配点は構造的な施工性に重み付け(配点増加)を行わず、一次比較と同じとした。(表-6)

表-6 評価項目と配点

評価項目	1・2次比較の配点
経済性	配点 - {(対象案工費/最経済案の工費) - 1} × 配点
構造的な施工性	不確定要素に対する柔軟性や構造上の補完性や代替性を評価する。
	10

施工性	全体工程の他、施工の確実性や容易さ、生産性の向上を評価する。	10
走行性	使用性能や走行安全性を評価する。	10
環境の 適応性	振動・騒音等の環境性や景観等、周辺環境への影響を評価する。	10
維持管 理性	維持管理の確実性や容易さを評価する。	10
合計	評価点の合計は、100点満点とする。	100

※経済性は、初期コストと維持管理費を考慮したライフサイクルコスト(LCC)で評価した。

2.3 橋梁形式一次比較

架橋地は交差条件や施工条件等の特別な制約は無く、支間割りをコントロールする要因が無いことから橋長280mに対して4~13径間(支間長70m~21.5m)までの支間割りが考えられた。そのため様々な橋梁形式が抽出されることから、上下部工の概算工事費を算出して経済比較し、一次比較対象案の絞り込みを実施した。その結果、以下に示す橋梁形式を一次比較案として13案を選出(表-7)した。

表-7 橋梁形式一次比較

橋梁形式	径間数
PC箱桁	4径間
鋼少数I桁	5~8径間
鋼I桁	9径間
PCコンボ桁	7~11径間
PCプレテンI桁	12, 13径間

抽出した橋梁形式13案に対する1次比較の結果、経済性、並びに総合評価で上位となる下記3案を橋梁形式二次比較案として選出した。PC橋については、クリープ・乾燥収縮による不静定力が大きくなるため、実績等を参考に連続化は橋長200mまでとし、2連のPC橋で構成する計画とした。
<橋梁形式二次比較案>

- 第1案：鋼6径間連続少数I桁橋(平均支間長=46.7m)
- 第2案：鋼7径間連続少数I桁橋(平均支間長=40.0m)
- 第3案：PC3+4径間連結コンボ桁橋(平均支間長=40.0m)

2.4 橋梁形式二次比較

最適橋梁形式の選定は、概略設計結果に基づいた概算工事費による経済性の他、架橋地周辺環境の特徴などを踏まえ、各評価項目について総合的に優位な橋梁形式を選定する方針とした。

下部工概略設計は支承条件の影響を大きく受けるため、

支承条件の検討を行った上で概算工事費を算出した。

(1) 支承条件の検討

本橋は地盤が堅固なI種地盤上に建設される橋梁であり、長周期化と減衰性向上による地震力低減が期待できる免震構造の適用性が高いと考えられる。

ここでは、橋梁全体系動的解析を実施し多点固定構造との比較の上、免震構造の妥当性を確認した。

第1案：免震構造

第2案：多点固定構造

比較検討の結果を以下に示す。

1) 免震構造

免震構造は、橋軸方向及び直角方向ともに全支点弾性とした。

動的解析を実施した結果、長周期化と減衰効果により、橋軸・直角方向ともに慣性力が低減できるため、下部構造のコンパクトが図れた。また、橋脚柱の配筋は地震時保有水平耐力の下限值で決定することを確認した。(図-8)

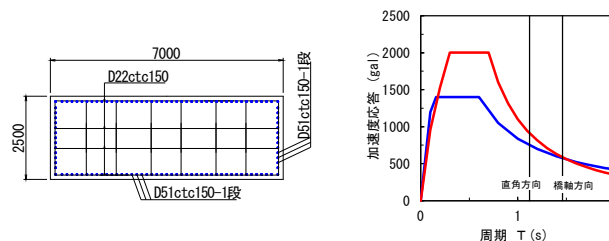


図-8 第1案：柱断面と弾性加速度応答スペクトル

2) 多点固定構造

多点固定構造は、橋軸方向は端支点可動・中間支点固定、直角方向は全支点固定とした。

動的解析を実施した結果、振動周期が短く、橋脚基礎形式が直接基礎の岩盤支持であることから、基礎の減衰も見込めないため、慣性力が大きくなった。そのため、下部構造が免震構造と比べて大きく、橋脚柱はD51ctc150-2段の配筋が必要となり、施工性に劣る結果となった。(図-9)

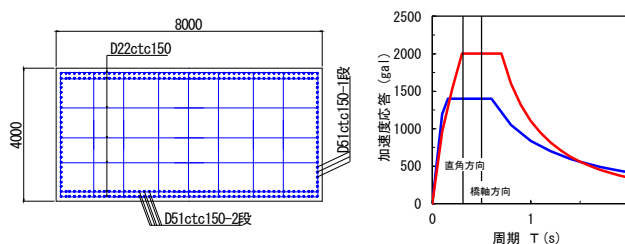


図-9 第2案：柱断面と弾性加速度応答スペクトル

以上より、本橋は下部構造がコンパクトになる免震構造を選定した。

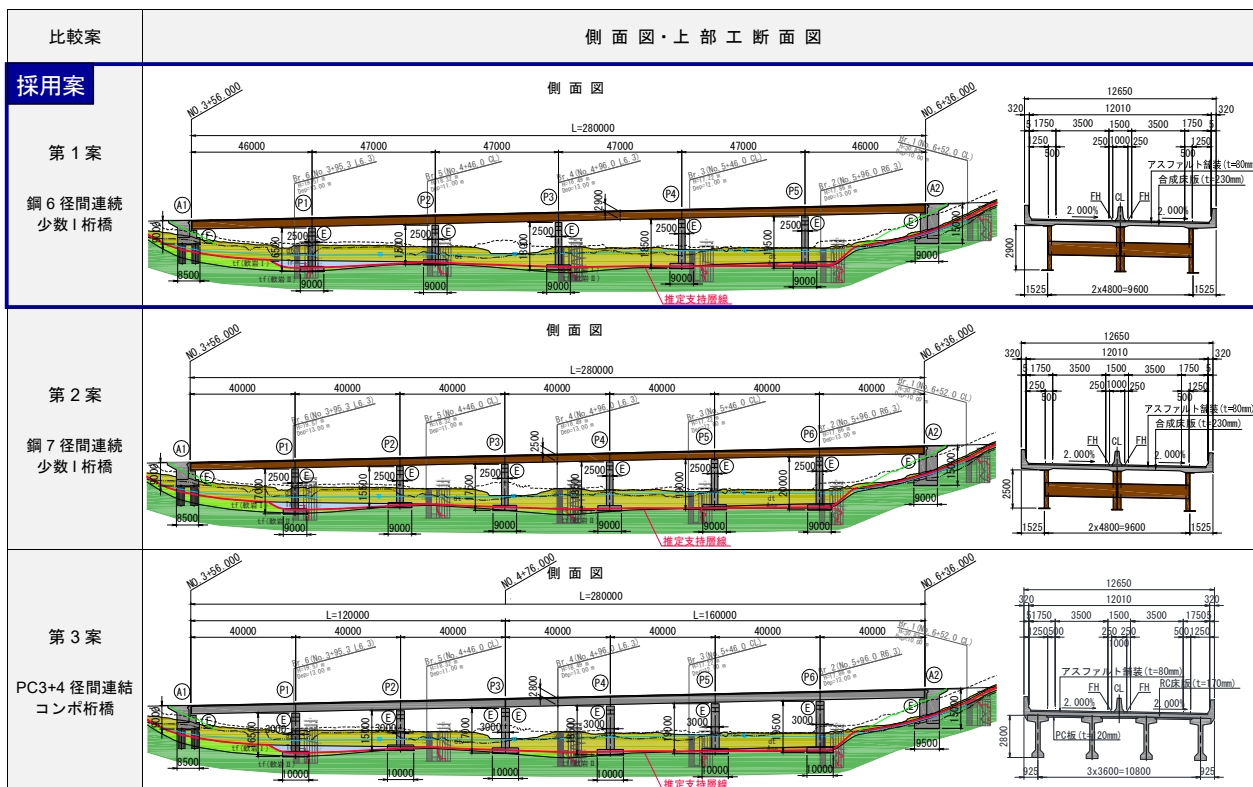


図-10 橋梁側面及び上部工断面

(2) 橋梁形式二次比較結果

橋梁形式二次比較3案について、経済性、構造的、施工性、走行性、環境への適応性、維持管理性の6項目を総合評価した。その結果、「第1案：鋼6径間連続少数I桁橋」を選定した。(図-10) 優位性のある項目の評価内容を以下に示す。

1) 経済性

当該区間は地下水位が高いため土留工による下部工施工としており、支持地盤が堅固な岩盤であることから、仮設費(土留工)の増加影響が大きく、下部工基数を減らした方が経済的となる。そのため、下部工基数が少なく、上部工重量の軽い第1案が初期コスト、LCCともに経済性に優れる。

2) 施工性、維持管理性

下部工基数が少ないため、現場の施工期間と定期点検の容易さで第1案が他案と比べて優位となる。

3) 走行性

鋼橋は2連で構成されるPC橋と比べ伸縮継手数を減らすことができるため、優位となる。

あ と が き

本検討では、斜面上に計画された多径間連続橋を対象に橋梁計画の与条件を整理し、計画コンセプトを策定した上で概略設計・工事費算定を行い、最適橋梁形式を決定した。

また、耐震設計により下部工諸元が決定されることから、橋梁形式二次比較3案を対象に全体系動的解析を実施し、橋梁設計精度の向上を図った。

橋梁計画を実施する上での課題については、橋台位置の検討により、A1橋台側の河川管理路横の補強土壁による安定対策の課題を解消することができた。加えてA2橋台側の橋梁区間の短縮を図った箱式橋台+高盛土案との比較を行うことで橋台位置の妥当性を確認した。

参 考 文 献

- 1) (公社)日本道路協会, 道路橋示方書・同解説IV下部構造編, H. 29. 11., 170p.
- 2) 設計要領道路編, 国土交通省北陸地方整備局, R4. 4., pp. 9-16.