

国道45号 大峠山橋の設計

向田 昇*1・大貝 和也*2・岩永 学*3・大杉 敏之*4

大峠山橋は、一般国道45号三陸沿岸道路（気仙沼～唐桑半島）のうち、宮城県気仙沼市大峠山～東八幡前地内に架かるPC5径間連続ラーメン箱桁橋である。本橋は、橋梁予備設計後に追加実施された地質調査により明確になった地盤条件での構成成立や、経済性、耐久性、施工性に配慮した橋梁計画、工事用道路施工時期を考慮した施工方法にすることが求められた。

本稿では、更新された地盤条件でのPC5径間連続ラーメン箱桁橋の構成成立の検討および橋梁形式の精査、下部工設計での、基礎形式および経済性、施工性に優れた橋脚断面の検討、上部工の断面形状およびケーブル種別の検討、工期短縮のための移動作業車の比較、および、工事用道路の制約を考慮した上部工、下部工の施工ステップの検討等、大峠山橋の橋梁計画から橋梁詳細設計について報告する。

キーワード：PC連続ラーメン箱桁橋，張出し架設，大口径深礎杭

1. はじめに

大峠山橋は、復興道路である三陸沿岸道路のうち、宮城県気仙沼市大峠山～東八幡前地内に架かる橋梁である（図-1）。架橋地周辺は、表層付近からCL～CM級の軟岩が

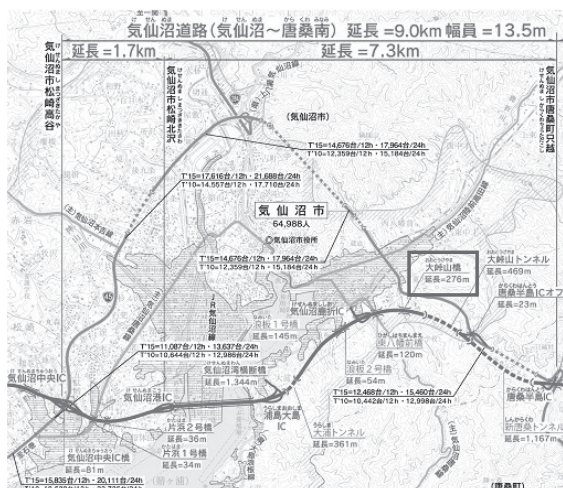


図-1 位置図

分布しており強固な地盤となっている。橋梁予備設計では、全橋脚剛結のPC5径間連続ラーメン箱桁橋が採用されていたが、追加実施された地質調査により、想定よりも岩級が高い岩層が分布していることが分かった。その結果、地盤反力係数が大きくなり全脚剛結では構造が成り立たなくなったため、構成成立のための比較検討を行い、P1橋脚を支承構造に変更する案を採用した。また、経済性、施工性等に着目し、橋脚断面、上部工計画、細部構造について比較検討を実施した。

本稿では、「平成24年度 気仙沼唐桑道路東八幡前地区橋梁詳細設計業務」（東北地方整備局仙台河川国道事務所発注）にて実施した大峠山橋の橋梁計画から橋梁詳細設計について報告する。

2. 橋梁概要

橋梁概要を以下に、全体一般図を図-2に、上部工断面図を図-3に示す。

道路規格：第1種第3級
 設計速度： $V = 80 \text{ km/h}$
 橋長： $L = 276 \text{ m}$



*1 Noboru MUKAIDA

大日本コンサルタント(株)
東北支社



*2 Kazuya OGAI

大日本コンサルタント(株)
大阪支社



*3 Manabu IWANAGA

大日本コンサルタント(株)
大阪支社



*4 Toshiyuki OSUGI

大日本コンサルタント(株)
中国支店

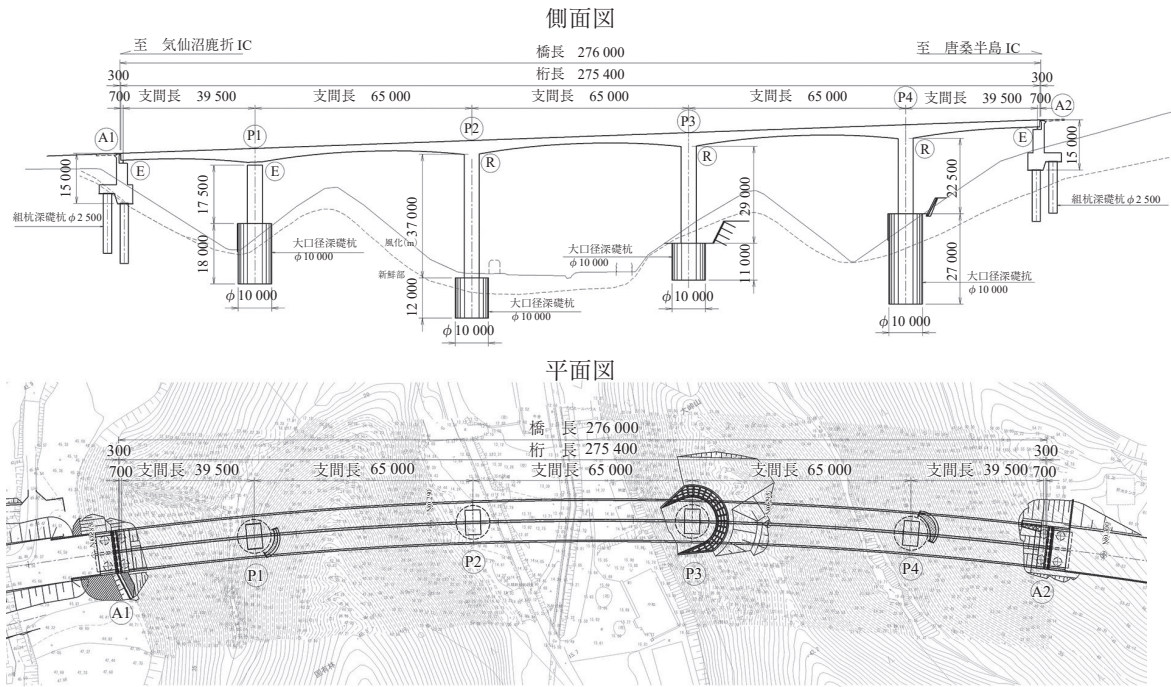


図 - 2 全体一般図

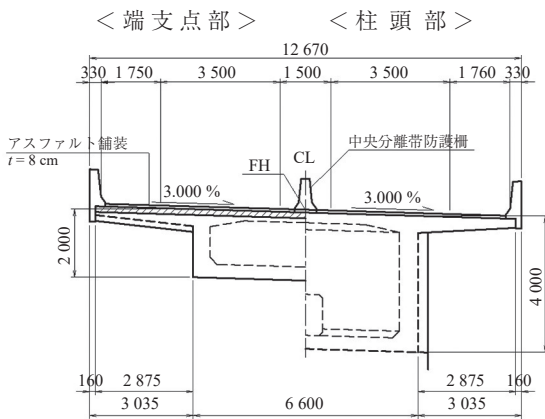


図 - 3 上部工断面図

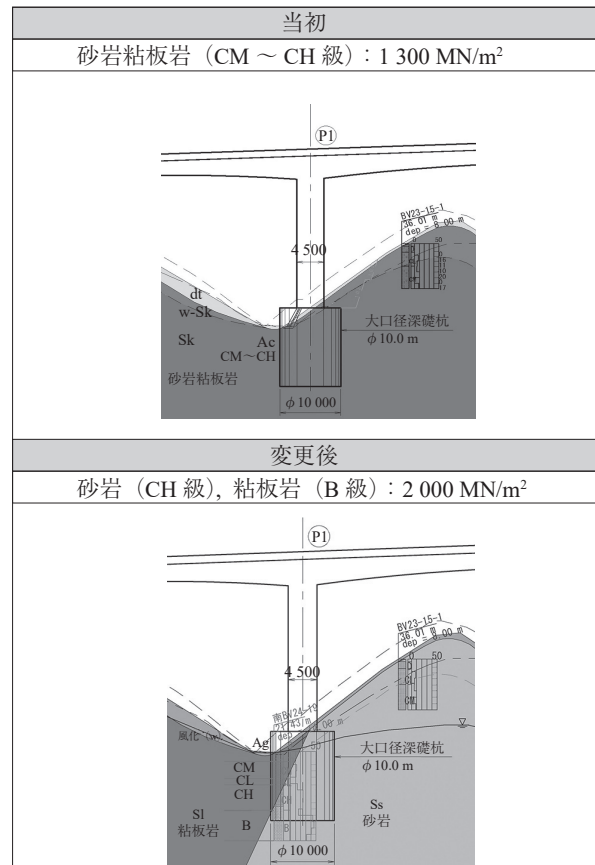
支間割：39.5m + 3@65.0m + 39.5m
 幅員：12.670m (全幅員), 12.010m (有効幅員)
 平面線形：R = 1100m
 縦断勾配：3.632% /
 横断勾配：3.000% \\
 斜角： $\theta = 90^\circ$
 上部工形式：PC5径間連続ラーメン箱桁橋 ($\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$)
 下部工形式：逆T式橋台, 柱式橋脚 (充実断面)
 基礎形式：組杭深礎杭 (橋台), 大口径深礎杭 (橋脚)
 適用基準：道路橋示方書・同解説 平成24年

3. 橋梁形式の検討

橋梁予備設計では、P1橋脚深礎杭周辺の地層として、砂岩粘板岩 (CM ~ CH級： $E = 1300 \text{ MN/m}^2$) を想定していたが、予備設計後の地質調査により、想定よりも変形係

数が大きい粘板岩 (CH級： $E = 2000 \text{ MN/m}^2$)、砂岩 (B級： $E = 2000 \text{ MN/m}^2$) が確認され (表 - 1)、地盤反力係数が大きくなった。

表 - 1 P1橋脚周辺の变形係数



その結果、PC 5 径間連続ラーメン橋の特性から、側径間側の橋脚で橋脚高が低い P1 橋脚および P4 橋脚の断面力が増加した。また、杭の突出長が短く地盤反力係数が P4 橋脚に比べ大きい P1 橋脚の断面力が、とくに大きい結果となった。表 - 2 に、土質定数変更後の橋脚断面力および応力照査結果を示す。照査の結果、P1 橋脚および P4 橋脚下端において、温度時、L1 地震時のコンクリート応力および鉄筋応力が許容値を超過する結果となった。

表 - 2 土質定数変更後の橋脚基部断面力および応力照査

(1) 温度時			P1	P2	P3	P4
			D51-2 段 (@ 150)	D51-2 段 (@ 150)	D51-2 段 (@ 150)	D51-2 段 (@ 150)
断面力	下端	M (kN·m)	227 250	84 949	-82 278	-220 729
		N (kN)	39 246	52 972	46 303	38 869
		S (kN)	12 000	3 523	-4 253	-11 510
応力度照査 (N/mm ²)	下端	σ_c	9.4	4.01	3.82	9.11
		σ_{ca}	9.2	9.2	9.2	9.2
		判定	NG	OK	OK	OK
		σ_s	222.5	22.31	26.95	214.51
		σ_{sa}	207.0	207	207	207
		判定	NG	OK	OK	NG
(2) L1 地震時						
断面力	下端	M (kN·m)	312 466	175 819	-190 951	-289 006
		N (kN)	38 519	51 193	44 757	37 851
		S (kN)	18 670	9 395	-10 915	-17 602
応力度照査 (N/mm ²)	下端	σ_c	12.6	7.6	8.1	11.7
		σ_{ca}	12.0	12.0	12.0	12.0
		判定	NG	OK	OK	
		σ_s	339.5	130.2	162.6	309.1
		σ_{sa}	300.0	300.0	300.0	300.0
		判定	NG	OK	OK	NG

対策検討として図 - 4 に示す 5 つの対策案について比較検討を行った。

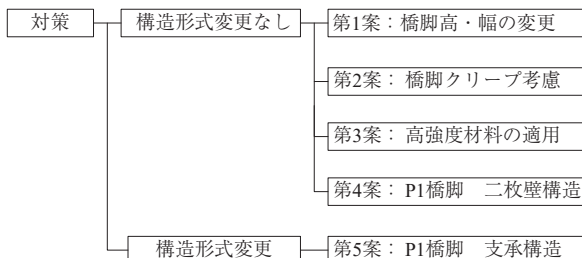


図 - 4 対策分類図

第 1 案：橋脚高・幅の変更

P1, P4 橋脚を高くすることで、橋脚の剛性を小さくし、ほかの橋脚へ断面力の分散を図る。また、P2, P3 橋脚の橋脚幅を大きくすることで、橋脚の剛性を大きくし、P2, P3 橋脚への断面力の集中を促す。

第 2 案：橋脚クリープ考慮

橋脚のクリープを考慮することで橋脚の若材齢時における比較的小さな弾性係数を用いて、断面力の算出を行う方法。橋脚剛性が小さくなり断面力を分散できる。

第 3 案：高強度材料の適用

P1, P4 橋脚躯体に高強度材料（コンクリート $\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$, SD490）を使用することで許容値を増加し対応する方法。

第 4 案：P1 橋脚 二枚壁構造

柱厚が小さく、剛性の小さい二枚壁構造とすることで、断面力の低減を図る方法。断面剛性が小さいため橋脚頭部での曲げ変形が発生しにくく、水平力が橋脚の軸力に置き換わることで下部工への水平力を低減できる。

第 5 案：P1 橋脚 支承構造

P1 橋脚と上部工との結合条件を、剛結から分散支承へ変更することで、断面力の分散を図る方法。

検討の結果、第 1 案は断面力の分散効果が小さく、第 3 案は高強度材料を使用しても許容値を満足せず、構造が成立しなかった。第 2 案は、構造は成立するものの工事工程が設計計算での設定値と異なることが想定される。第 4 案は、当初案に比べて断面力を低減できるものの、P1 橋脚高が比較的低いため、軸力変動が大きく、温度時の応力度照査を満足できなかった。また、二枚壁の軸力変動が大きく、柱上部で全断面引張となり断面が成立しなかった。

よって、PC 5 径間連続ラーメン箱桁橋の形式は、構造が成立し、工事工程の制約を受けず、一般的な構造である第 5 案：P1 橋脚を支承構造とすることとした。

また、P1 橋脚の支承構造への変更に伴い、最適な橋梁形式の精査を行うため、橋梁予備設計での比較案を基に、比較検討を実施した。表 - 3 に橋梁形式比較表を示す。

第 1 案から第 3 案は、もともと全橋脚支承構造の連続橋案であり、経済性に大きな変化はなかった。比較の結果、経済性に優れた「第 4 案：PC 5 径間連続ラーメン箱桁橋 (P1 支承)」を採用した。

表 - 3 橋梁形式比較表

比較案		経済性	判定
第 1 案	鋼 4 径間連続箱桁橋	1.16	
第 2 案	PC 4 径間連続箱桁橋	1.03	
第 3 案	鋼 5 径間連続 I 桁橋	1.08	
第 4 案	PC 5 径間連続 ラーメン箱桁橋 (P1 支承)	1.00	採用

4. 下部工設計

4.1 基礎形式

支持層となる岩層が比較的浅い位置に存在することや地形条件を基に、比較検討により基礎形式を決定した。

橋台基礎は、斜面に位置することや、施工性、経済性より段差フーチングでの組杭深礎杭（ $\phi 2500$ ）を採用した。橋脚基礎は、斜面での掘削規模を縮小できることや、支持層が表層付近の軟岩であること、支間が比較的長く荷重規模が大きいことより大口径深礎杭を採用した。

4.2 橋脚断面

大峠山橋の橋脚高は約 20 ~ 37 m と高く、橋脚断面を中空断面として自重軽減を図ることで合理的な設計となる可能性があるため、充実断面との比較を行った。

比較検討の対象橋脚は、橋脚高がもっとも高い P2 橋脚とした。コンクリート強度は、下部工の標準強度である $\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$ 、鉄筋は SD345 を使用した。なお、橋脚断

面寸法により深礎杭径が異なるため、深礎杭まで含めた概算工事費の比較を行った。橋脚断面比較表を表 - 4 に示す。

表 - 4 橋脚断面比較表

第1案：充実断面	
$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$, SD345	
主筋（橋軸）：D51 etc150-2 段	
主筋（直角）：D51 etc150-2 段	
せん断補強鉄筋：D22	
経済性：1.00	
第2案：中空断面	
$\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$, SD345	
主筋（橋軸）：D38 etc125-2 段	
主筋（直角）：D35 etc125-2 段	
せん断補強鉄筋：D25	
経済性：1.09	

比較検討の結果、躯体のコンクリート体積は中空断面が小さくなるものの、型枠、鉄筋、支保工が多くなるとともに、躯体形状に合わせて深礎杭径も大きくなるため、中空断面が経済性に劣る結果となった。また、中空断面は、とくに隅角部での配筋が密になり施工性に劣る。

以上より、経済性、施工性の観点から橋脚断面は充実断面を採用した。

5. 上部工設計

5.1 上部工断面

全幅員 12.67 m のため、1 室箱桁を基本に、箱桁幅、桁高、PC 鋼材などについて比較検討を行った。床版は、適用床版支間が長く、耐久性が高い PC 床版とした。

5.1.1 箱桁幅の検討

箱桁幅について、配筋、定着部との取り合い、パイプリーダーなどの施工性を考慮し、床版、ウェブなどの最小部材厚を設定した後、箱桁幅について検討を行った。上床版

幅 (B) と下床版幅 (D) の比率 (D/B) の目安値は 0.55 程度であり、本橋における下床版幅の目安は、

$$12.35 \text{ m} \times 0.55 = 6.793 \text{ m} \text{ となる。}$$

ここで、中間床版の PC 床版としての最大支間長を 6.000 m、最小ウェブ厚を 0.300 m とすると PC 床版にて可能な箱桁幅は最大 6.600 m までとなる。この値を最大として表 - 5 の 2 案について、図 - 5 に示す ① 張出し床版付け根部と ② 中間床版支点部における設計荷重時（死荷重 + 活荷重）の曲げモーメントバランスを比較した。

表 - 5 箱桁幅比較案

第1案 箱桁幅 (D) = 6.500 m	D/B = 0.526
第2案 箱桁幅 (D) = 6.600 m	D/B = 0.534

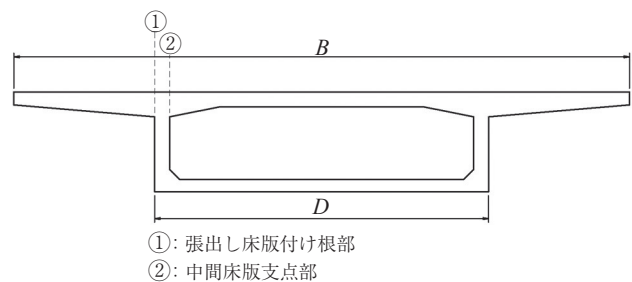


図 - 5 上部工断面図

比較の結果、張出し床版付け根部と中間床版支点部におけるモーメントバランスが最も優れる第2案 箱桁幅 6.6 m (床版支間 6.0 m) を採用した。

5.1.2 桁高の検討

(1) 柱頭部

柱頭部の桁高は、標準的な桁高・支間比：1/17 (桁高 / 支間長) を基本とし、3.8 m 程度 (65 m / 17 = 3.82 m) で、表 - 6 に示す 3 ケースの比較検討を行った。

比較検討の結果、標準桁高に近く、もっとも経済性に優れる第2案桁高 4.0 m を採用した。

表 - 6 柱頭部桁高比較表

比較案	経済性	判定
第1案 桁高 3.5 m (1/19)	1.02	
第2案 桁高 4.0 m (1/16)	1.00	○
第3案 桁高 4.5 m (1/14)	1.01	

(2) 支間中央部

支間中央部の桁高についても、標準的な桁高・支間比：1/34 (桁高 / 支間長) を基本とし、1.9 m 程度 (65 m / 34 = 1.91 m) で、表 - 7 に示す 3 ケースの比較検討を行った。

比較検討の結果、標準桁高に近く、もっとも経済性に優れる第2案桁高 2.0 m を採用した。

表 - 7 支間中央部桁高比較表

比較案	経済性	判定
第1案 桁高 1.8 m (1/36)	1.013	
第2案 桁高 2.0 m (1/33)	1.000	○
第3案 桁高 2.2 m (1/30)	1.010	

5.1.3 床版横締めケーブルの検討

床版横締めケーブルは SWPR19L 1S21.8 mm と 1S28.6 mm の2種類とし、それぞれグラウトタイプ、プレグラウトを設定し比較検討を行った(表 - 8)。なお、床版の橋軸直角方向鉄筋が ctc125 mm で配置されるため、PC ケーブルは 125 mm の倍数になる間隔とした。比較検討の結果、経済性、施工性、グラウト品質に優れる第4案 1S28.6 mm ctc500 プレグラウトを採用した。

表 - 8 床版横締めケーブル比較表

比較案	経済性	判定
第1案 1S21.8 mm ctc250 グラウト	1.38	
第2案 1S21.8 mm ctc250 プレグラウト	1.24	
第3案 1S28.6 mm ctc500 グラウト	1.18	
第4案 1S28.6 mm ctc500 プレグラウト	1.00	○

5.1.4 主ケーブルの検討

主ケーブルは、内ケーブルと外ケーブルがあるが、全内ケーブル方式の場合、ウェブに内ケーブルを多く配置する必要があり、ウェブ厚が大きくなるため死荷重が増加する。外ケーブルの場合、ウェブの内ケーブルを減らしウェブ厚を小さくすることで、主桁重量を軽減することができるが、定着突起を別途設置する必要があるため、箱桁内空部の突起配置やケーブル配置が煩雑になりすべて外ケーブルとすることは難しい。よって、主ケーブルの種別と配置について、表 - 9 の案を設定し、比較検討を行った。内外ケーブル併用方式とする場合は、主桁張出し施工、閉合部の主ケーブルを内ケーブルで、その他を外ケーブルとした。

検討の結果、全内ケーブル方式は、ウェブ厚が比較案中もっとも大きい 650 mm となった。内外ケーブル併用方式は、内ケーブルを 12S12.7 と 12S15.2 を設定し検討したが、12S15.2 は、ケーブル本数を低減できるものの主ケーブル総重量が増加するため経済的なメリットは得られなかった。

比較の結果、もっとも経済性に優れる、第2案 内外ケーブル併用方式(内: 12S12.7, 外: 19S15.2)を採用した。

表 - 9 主ケーブル比較表

比較案	経済性	判定
第1案 全内ケーブル(内: 12S12.7)	1.02	
第2案 内外ケーブル併用 (内: 12S12.7, 外: 19S15.2)	1.00	○
第3案 内外ケーブル併用 (内: 12S15.2, 外: 19S15.2)	1.02	

5.2 支承形式

支承形式は、P2 ~ P4 橋脚が剛結のラーメン構造であり

橋台と P1 橋脚を免震構造にしても長周期化を図れないため、免震支承は採用せず、分散支承を採用した。また、地震時水平力の分散を図るため、直角方向は固定とした。

P1 橋脚は、直角方向の地震時水平力が非常に大きくなるため、支承形状のコンパクト化が可能な機能分離支承を採用した。

5.3 維持管理性と耐久性向上

維持管理性と耐久性向上のため以下の対策を行った。

- 1) 非排水で耐久性に優れるアルミ製伸縮装置を採用(二重止水)。
- 2) 桁端部付近の上部工および下部工橋座面等にコンクリート塗装を塗布。
- 3) 補修工事等の維持管理用足場を容易に設置できるように吊り足場用金具のためのインサートを設置。

5.4 移動作業車の検討

三陸沿岸道路は、復興道路として早期整備が求められていたため、ブロックを長くし、総ブロック数を低減することで、工期短縮およびコスト削減が期待できる大型移動作業車を用いた張出し架設の適用について検討し、一般型移動作業車と経済性、工事日数等について比較を行った。

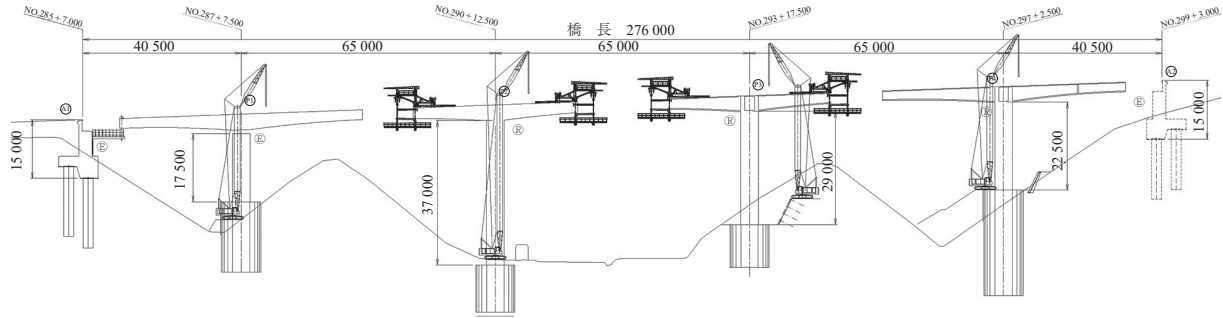
比較検討の結果(表 - 10)、大型移動作業車を使用することで、ブロック数を低減し、全工事日数を低減することはできるが、一般型移動作業車との差は8日程度であり、工期短縮のメリットはわずかであった。また、大型移動作業車を用いた場合、一般型移動作業車よりも25%程度、経済性に劣る結果となった。

したがって、大型移動作業車を使用するメリットが得られないため、本橋の張出し架設は、第1案一般型移動作業車で行うこととした。

表 - 10 移動作業車比較表

第1案: 一般型移動作業車	
ブロック長 : 3.0 m ~ 4.0 m 片側ブロック数 : 7ブロック	
経済性	1.00
施工日数	498 日
第2案: 大型移動作業車	
ブロック長 : 4.5 m ~ 5.0 m 片側ブロック数 : 5ブロック	
経済性	1.25
施工日数	490 日

(1) STEP4 : P2, P3 張出し施工, および, A1-P1 側径間閉合



(2) STEP6 : A2 橋台施工

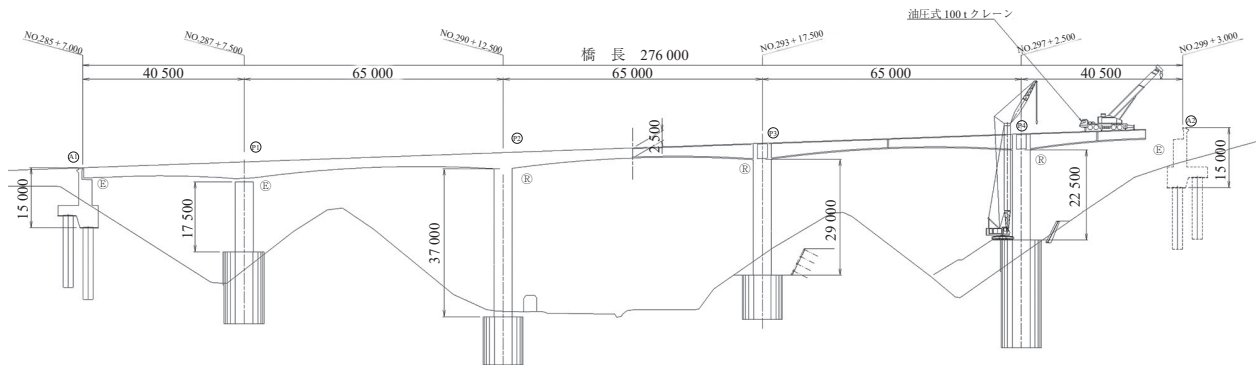


図 - 6 架設要領図 (主な施工ステップ)

5.5 上部工施工ステップを考慮した設計計算

上部工は、移動作業車を用いた張出し架設であるが、詳細設計時は、A2 橋台施工のための工事用道路計画が未確定であり、P4 - A2 径間の側径間部施工の際、A2 橋台の施工に着手できていない可能性があった。そのため、A2 橋台を上部工から施工できるように、上部工の施工ステップや A2 橋台施工時の重機配置を考慮した架設計画を立案した。構造解析は、立案した架設計画に基づき、構造系の変化や重機荷重を考慮した全体解析モデルにより実施した。

施工ステップを以下に示す。なお、張出し架設に使用する移動作業車は、2 セット (4 台) の使用を想定した。

STEP 1 : P1, P4 柱頭部施工

STEP 2 : P2, P3 柱頭部施工

STEP 3 : P1, P4 張出し施工

STEP 4 : P2, P3 張出し施工, および, A1 - P1 側径間閉合

STEP 5 : 各中央径間閉合

STEP 6 : A2 橋台施工

STEP 7 : P4 - A2 側径間閉合

図 - 6 に主な施工ステップの架設要領図を示す。A1 橋台背面から、A2 橋台施工用の重機を搬入する必要があるため、P4 - A2 側径間部以外の閉合部を先行して施工した。

STEP 6 では、A2 橋台施工のためのトラッククレーン (100 t)、資材搬入用の 10 t トラック、資材置き場の荷重を考慮した。

上記の方法により、A2 橋台施工のための工事用道路建設を待たず上部工を架設する計画を立案できた。

6. おわりに

本業務は、平成 23 年 3 月の東日本大震災後の平成 24 年 10 月に着手した。業務着手時は、震災から 1 年以上経過していたが、現地は復興工事が急ピッチで進む一方、住宅の基礎だけ残り更地になった住宅街、打ち上げられた船、学校の校庭などに設置された仮設住宅等、復興はまだこれからといった印象だった。

現在、大峠山橋は竣工し、気仙沼道路 (気仙沼~唐桑半島) は、令和 3 年 3 月に開通した。

復興道路の事業推進のため、厳しい工期の業務であったが、三陸地方復興の一助となっていれば幸いである。

最後に、本業務実施にあたり、ご指導をいただいた各関係者の方々に感謝の意を表するとともに、被災地の復興と今後の発展を祈念する。



写真 - 1 現況写真 (令和 3 年 3 月撮影)

【2021 年 8 月 28 日受付】