

北丘高架橋上部工 (UDP10～UDA2) の施工 — 箱桁室数が変化する広幅員箱桁橋 —

加藤 鉄平*1・三苫 哲也*2・河口 慎也*3

北丘高架橋は、沖縄総合事務局が整備を進めている一般国道329号「南風原バイパス」の一部であり、架橋地点は市街地から丘陵地に至っている。本橋はプレストレストコンクリート橋と鋼橋で構成された12径間の橋梁であり、丘陵地に接するUDP10-UDA2径間は側道と鋭角に交差するため、支間長60mを超えるポストテンション方式PC2径間連続箱桁橋が採用されている。UDP10-UDA2径間の有効幅員は15.2～24.8mと大きく変化するため、中間橋脚を境に主桁のウェブ数が増減し、1径間目は2室箱桁、2径間目は3室箱桁の多室箱桁構造となる。このため、室数が増減する主桁断面に対応した縦締めPCケーブル(12S15.2)が合計96本配置されている。縦締めPCケーブルの緊張順序によっては、主桁に局部的な応力が作用することが懸念されたため、施工ステップを考慮したFEM解析を行い、構造物の安全性を検証した。

キーワード：多室箱桁、FEM解析、緊張順序、広幅員

1. はじめに

一般国道329号「南風原バイパス」は沖縄県内の交通混雑の緩和を図るため新たに構築される沖縄県島尻郡南風原町と那覇市を結ぶ延長2.8kmの主要幹線道路であり、開通により交通渋滞の緩和、那覇空港などへの物流効率化、観光拠点へのアクセス向上などの効果が期待されている。

北丘高架橋上部工(UDP10～UDA2)工事は、橋長127.0m(支間62.9+61.9m)の2径間PC連続箱桁橋であり、島尻郡南風原町(那覇市から南東方向に約4.0km)に位置する橋梁である。本工事は平成30年10月に着工し、令和2年8月に竣工した。橋梁位置を図-1に示す。

本稿では、FEM解析結果を反映した緊張方法、施工基面の変化に対応した支保工計画、長支間と広幅員に対応した主桁コンクリートの打込み計画について報告する。

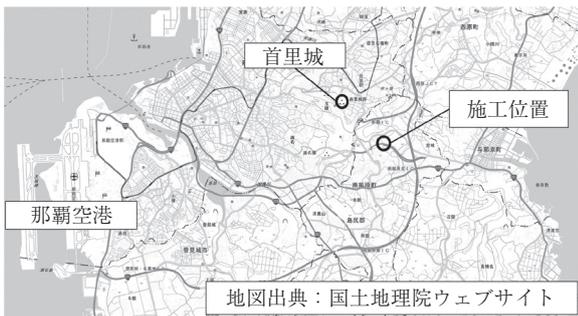


図-1 橋梁位置図

2. 工事概要

2.1 北丘高架橋(UDP10～UDA2)の概要

北丘高架橋(UDP10～UDA2)の橋梁概要を表-1に、

UDP10-UDP11径間、UDP11-UDA2径間の断面図をそれぞれ図-2、3に、橋梁一般図を図-4に示す。本工事は、2径間連続のPC箱桁橋の施工であり、各径間ともに支間長60mを超える橋梁である。また、 $R=450$ mの平面線形を有し、有効幅員が15.2m(UDP10側)から24.8m(UDA2側)に大きく変化しており、中間橋脚を境に2室箱桁から3室箱桁に変化する構造となっている。

表-1 北丘高架橋(UDP10～UDA2)の概要

工事名	平成30年度北丘高架橋上部工(UDP10～UDA2)工事		
発注者	沖縄総合事務局 南部国道事務所		
構造形式	ポストテンション方式2径間連続PC箱桁橋		
架設工法	固定式支保工		
橋長	127.0m	支間	62.9+61.9m
桁高	3.500m	有効幅員	15.2～24.8m
平面線形	$R=450$ m		
勾配	縦断5.0%、横断4.0%		

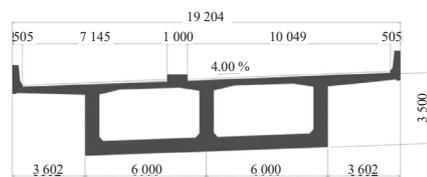


図-2 断面図(UDP10-UDP11径間)

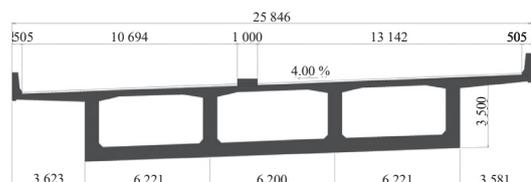


図-3 断面図(UDP11-UDA2径間)

*1 Tepei KATO：(株)日本ピーエス 九州支店 技術グループ
 *2 Tetsuya MITOMA：(株)日本ピーエス 九州支店 技術グループ
 *3 Shinya KAWAGUCHI：(株)日本ピーエス 九州支店 技術グループ

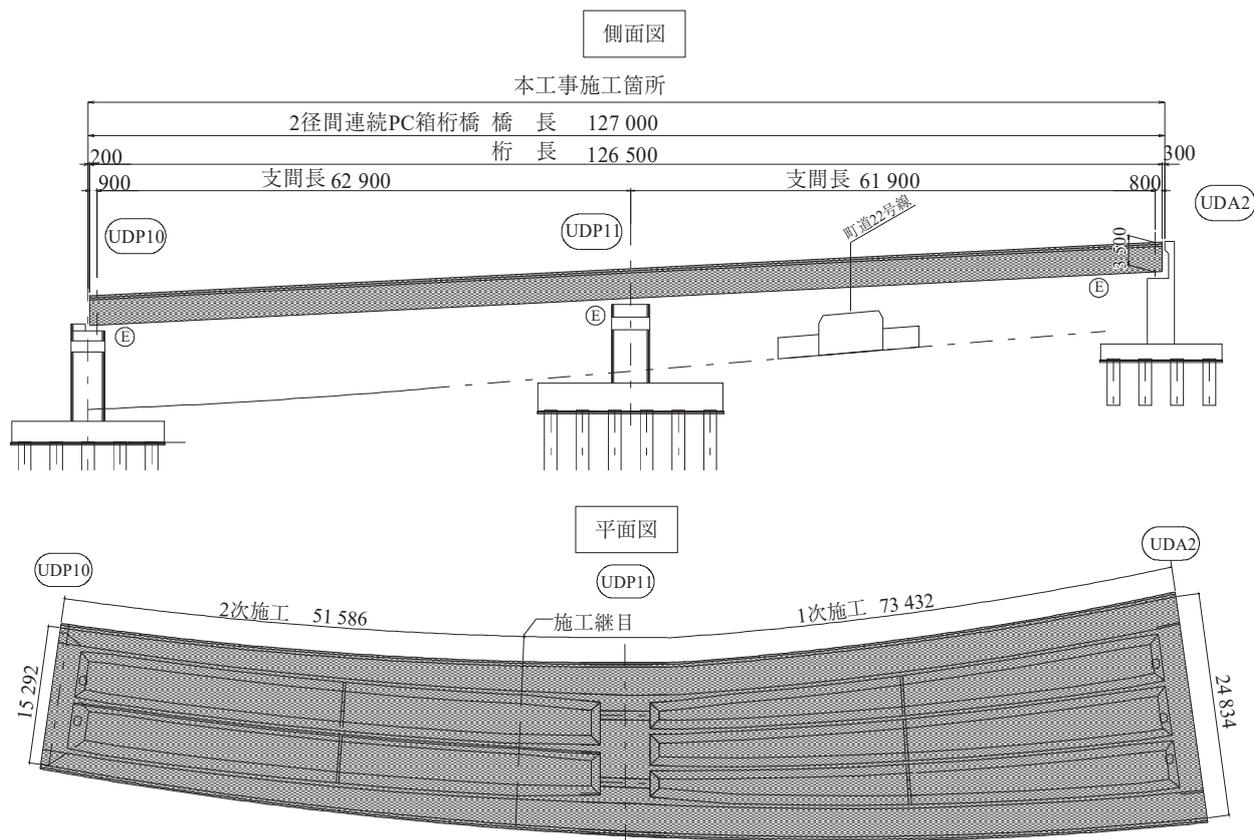


図 - 4 橋梁一般図

2.2 施工時の課題と対策

本工事区間は、長支間と主桁室数の変化に対応した合計96本の縦締めPCケーブルは分割施工でなく、すべての主桁コンクリートの打込み完了後にプレストレスの導入を行う。縦締めPCケーブルは中間橋脚部で2室箱桁から3室箱桁に変化する断面に対応するように配置されたウェブケーブルと上床版、下床版の突起部で定着されるため、緊張順序によっては局部的な応力の発生が懸念された。

また、本工事区間は平面線形と幅員変化、丘陵地の高さ変化の影響を受けた施工基面に加え、交差する側道など支保工の構造形式に多くの制約があった。

さらに、亜熱帯気候地域による高温下での施工のため、マスコンクリートによる温度ひび割れ対策などの対応が求められた。

以上の課題から本稿では、(1)適切な緊張順序の設定、(2)複雑なヤード条件に対応した支保工計画、(3)品質確保のためのコンクリート打込み計画、への対策を3～5章に示す。

3. 縦締めPCケーブル緊張

3.1 縦締めPCケーブルの種類と配置

PCケーブルは、主桁のウェブ、上床版、下床版の部材ごとに3種類が配置されている。

ウェブケーブルは、外側ウェブに配置される主桁全長に設けられる連続ケーブルと内側ウェブに配置される径間ごとのケーブルの2種類に細分される。本工事の縦締めPC

ケーブルの分類を表-2に、配置図を図-5～7に、上床版と下床版の定着突起と中間橋脚で定着する単独ケーブルの定着部を写真-1に示す。



写真 - 1 PCケーブルの定着状況

表 - 2 PC ケーブルの種類

配置箇所	ケーブル No.	種類	ケーブル長	ケーブル本数	鉛直角変化	平面角変化	平面曲線半径
外ウェブ	C1 ケーブル	12S15.2	126.896 m ~ 126.990 m	24	合計 96 ケーブル	最大 10° 00' 最小 5° 00'	R = 450 m
中ウェブ	C2 ケーブル		66.648 m ~ 66.733 m	8			
中ウェブ	C3 ケーブル		65.646 m ~ 65.730 m	16			
上床版	U ケーブル		21.078 m ~ 57.078 m	36			
下床版	L ケーブル		47.693 m ~ 48.244 m	12			

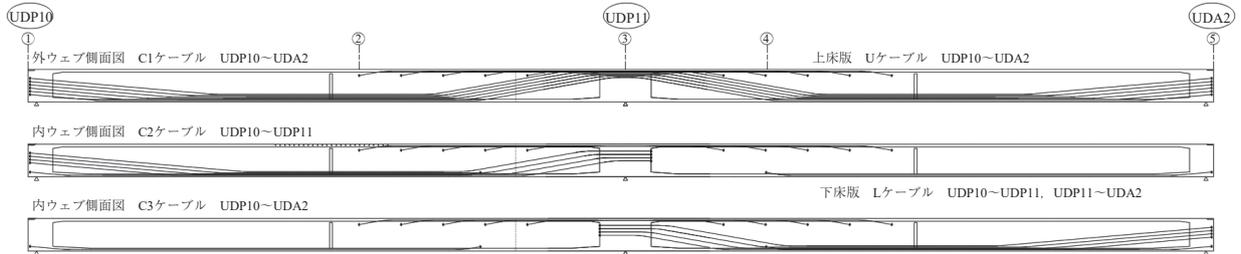


図 - 5 PC 鋼材配置側面図

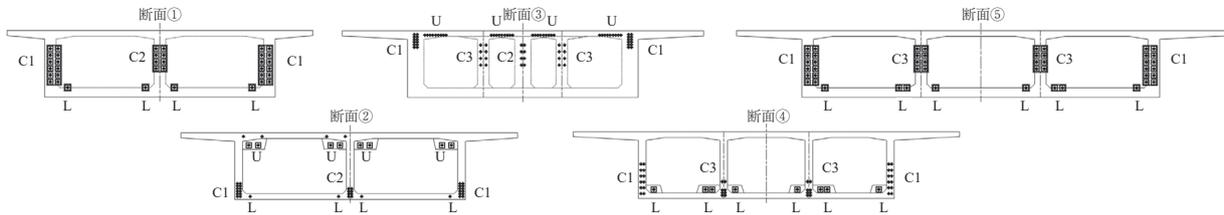


図 - 6 PC 鋼材配置断面図

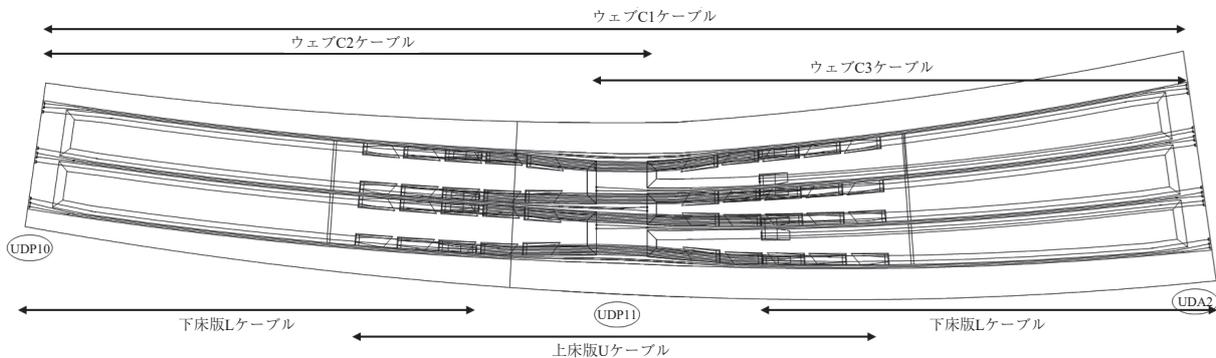


図 - 7 PC 鋼材配置平面図

3.2 FEM 解析

PC ケーブル緊張順序を変えた2つのケースでFEM 解析を行い、局部応力の発生を検討した。CASE1は、最初に主桁全長にわたる2径間を跨ぐ連続ケーブルにプレストレスを導入したのち、各径間で独立した内側ウェブのPCケーブルにプレストレスを導入する案とした。この案では中間位置で定着するPCケーブルの定着背面に発生する引張応力を軽減できる一方で、先行して外側ウェブのPCケーブルのみにプレストレスを導入するため、外側と内側ウェブとのプレストレスによる応力差が懸念された。CASE2では内側と外側のウェブに配置されたPCケーブルに交互にプレストレスを導入し、主桁断面に対して均等なプレストレスを導入する案とした。

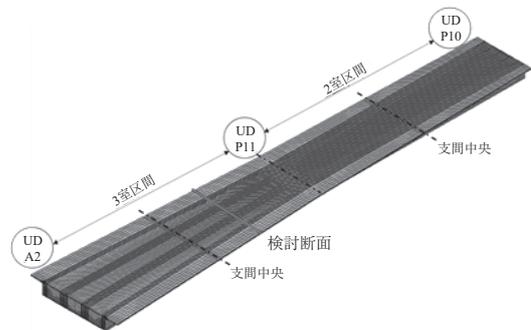


図 - 8 FEM 解析モデル

解析モデルを図 - 8 に示す。解析モデルは、主桁全体をモデル化し、最大の局部応力が発生する位置 (図 - 8 中の検討断面) で検証を行った。

(1) CASE1：連続ケーブルの先行緊張

主桁全体にプレストレスを導入するため、2 径間に跨る外側ウェブの連続ケーブルにプレストレスを導入する解析を行った。外側ウェブで定着される 24 本の PC ケーブルに有効緊張力 1000 N/mm^2 、1 ケーブルあたり 1664 kN の荷重を載荷した。解析の結果を図 - 9 に示す。プレストレスを導入した外側ウェブと未導入の内側ウェブには応力差が生じ、ウェブと下床版の接合部橋軸直角方向に最大 2.70 N/mm^2 の引張力が発生した。

下床版厚 300 mm の部材許容値として、コンクリートの曲げひび割れ強度¹⁾を算出すると 2.33 N/mm^2 となり、CASE1 では、許容値を満足しない結果となった。

外側ウェブの縦締め PC ケーブルに先行してプレストレスを導入すると、外側ウェブと下床版の接合部付近にひび割れが生じる懸念があることが明らかとなった。

(2) CASE2：連続ケーブルと単独ケーブルの分散緊張

主桁断面に対して均等にプレストレスを導入するため、外側ウェブと内側ウェブの PC ケーブルに交互にプレストレスを導入する解析を行った。解析結果を図 - 10 に示す。

内側ウェブと外側ウェブの導入プレストレスが同程度となるよう、主桁断面に対して左右均等に載荷を行い、CASE1 で発生したウェブと下床版の接合部橋軸直角方向の引張力を軽減できることが明らかとなった。CASE1 と同様にウェブと下床版の接合部に最大引張応力 1.92 N/mm^2 が発生したが、コンクリートの曲げひび割れ強度 2.33 N/mm^2 の許容値内の結果が得られた。

3.3 解析を考慮した施工手順

主桁に発生する引張応力を軽減するため、PC ケーブルの緊張手順として CASE2 を採用した。解析に基づいたウェブケーブルの緊張作業完了後には、下床版ケーブル、さらに上床版ケーブルにプレストレスを導入する手順とした。

FEM 解析では緊張機器の組数を 4 組としてプレストレスを導入したが、実際の緊張作業時は箱桁内部での緊張ジャッキおよびポンプの移動を考慮して、3 組を追加し、合

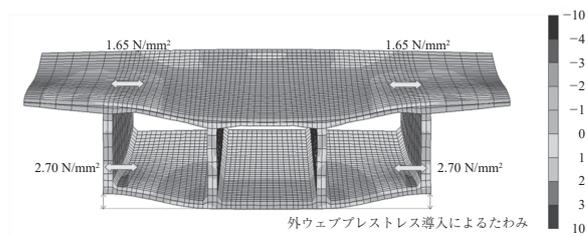


図 - 9 CASE1 の FEM 解析結果

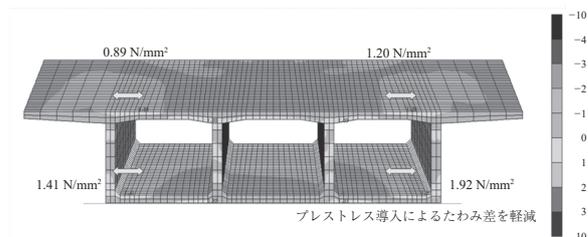


図 - 10 CASE2 の FEM 解析結果



写真 - 2 箱桁内緊張状況

計 7 組の緊張機器を使用して 9 日間で全縦締め PC ケーブルの緊張作業を行った。

3.4 解析と実施工の比較結果

図 - 11 に示す緊張順序のステップごとに、主桁のたわみ量の計測およびウェブと下床版接合部の異常の有無を観測した。たわみ量は計算値に対して $\pm 8 \text{ mm}$ 以内の値を示し、ウェブと下床版の接合部にもひび割れなどの異常は見

PC鋼材配置概略図			緊張順序 ※白抜数字は 緊張本数/全本数													
	支間中央部	支間中央部	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ウェブC1	UDP10	UDP11	UDA2	6/24			8/24			8/24		2/24				
ウェブC2				2/8			2/8			2/8			2/8			
ウェブC3					4/16			4/16			4/16			4/16		
下床版L																12/12
上床版U																36/36

図 - 11 緊張順序概略図

られなかった。

以上の結果から、FEM 解析を用いた緊張順序の検討が妥当であったと判断した。写真 - 2 に縦締めケーブルの緊張状況を示す。

4. 支保工計画

本工事区間は、 $R=450\text{ m}$ の平面線形や約 10 m の幅員変化に加え、鋭角に交差する車道および UDP11 背面と UDA2 前面に存在する 2 本の歩道、側道の法面、多様に勾配が変化する丘陵地に対応するため、複雑な支保工計画となった。支保工着工前の状況を写真 - 3、側道との交差状況を写真 - 4 に示す。交差する車歩道および地形変化に対応するため、車道・歩道部および法面部は支柱式支保工を採用し、そのほかはくさび式支保工を採用した。各支保工は設置場所ごとに独立した構造で計画することで複雑な平面形状に対応した。車道・歩道部の支柱式支保工組立状況を写真 - 5 に示す。

各支柱式支保工の基礎部は、7% を超える勾配で高さが変化していた。加えて、UDP11-UDA2 径間で斜方向に交差する車道は延長 40 m 以上にわたり交差しているため、主桁コンクリート打込み時に発生する不均等荷重による基礎の不等沈下が懸念された。このため、支保工基礎コンクリートの上面を階段形状の構造にして、上面の水平性と基礎の連続性を確保し荷重支持を均一化した。UDA2 前面の歩道部に設置した階段形状のコンクリート基礎を写真 - 6、支保工組立状況を写真 - 7、支保工全景を写真 - 8 に示す。支保工の設置期間は 15 ヶ月であったが、設置期間中の不等沈下は発生せず、最大沈下量は 5 mm であった。これにより、本工事に必要な出来形と品質の確保ができたとともに、施工中の道路利用者の安全を確保できた。



写真 - 3 支保工着工前



写真 - 4 側道との交差状況



写真 - 5 支柱式支保工組立状況



写真 - 6 階段形状基礎 (UDA2 前面)



写真 - 7 支保工組立



写真 - 8 支保工全景

5. コンクリート打込み計画

本工事の総主桁コンクリートは約 2 400 m³ と多く、中間橋脚である UDP11 の横桁部のみでも、数量は約 250 m³ であった。UDP11 横桁部のコンクリート打込み状況を写真 - 9 に示す。また、コンクリート製造プラントの 1 日あたり生産能力が約 300 m³ であること、供用中の側道の安全を確保しながら同時に配置できるコンクリートポンプ車が最大 3 台であること、各横桁部はマスコンクリートとなること、暑中コンクリート対策などの条件を考慮して主桁コンクリートの打込み計画を立案した。

本工事では、マスコンクリートの水和熱抑制対策と長期耐久性向上のために、普通ポルトランドセメントの 15% をフライアッシュに置換したコンクリート配合とした。フライアッシュの配合決定にあたり通常の試験室での試験練りに加え、実機ミキサーを使用した試験練りと現地まで運搬を行ったあとのスランプロスの性状確認を繰り返し行い配合を決定した。採用した配合では、運搬時間 15 分に対して、運搬時のスランプロスは 0～1 cm 程度であった。本工事で採用した主桁コンクリートの示方配合を表 - 3 に示す。

大量の主桁コンクリート打込み対策として、断面を上床版、下床版、ウェブの 3 断面に分割し、さらには各断面を

表 - 3 示方配合表 (36-12-20N)

セメント 種類	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					空気量 (%)
		C	FA	W	S	G	
普通	42.2	316	56	157	770	1 023	4.5

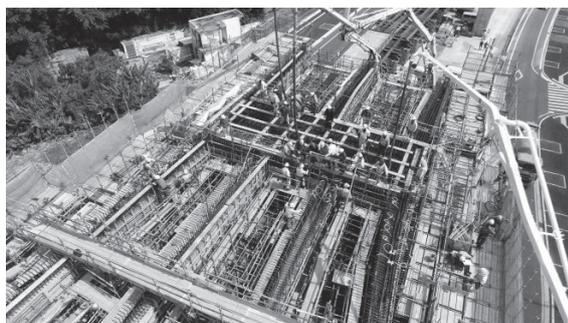


写真 - 9 UDP11 横桁のコンクリート打込み状況



写真 - 10 上床板コンクリートの打込み状況

橋軸方向に 4～5 分割した。これにより、主桁コンクリートの打込み回数は合計 14 回となった。上床版コンクリートの打込み状況を写真 - 10 に示す。1 回の打込み数量の低減とフライアッシュの利用によりマスコンクリートの水和熱を抑制できたため、温度ひび割れの発生はみられなかった。

6. おわりに

本工事は、令和 2 年 8 月に無事に工事を完了することができた。完成時の全景写真を写真 - 11 に示す。プレストレスの効率的導入と定着体背面での引張を抑えるため、鋼材長の長い PC ケーブルの先行緊張を検討したが、FEM 解析ではウェブと下床版の接合部に許容値を超える引張応力の発生が懸念された。箱桁室数が増える広幅員の断面形状の場合、主桁の左右にプレストレスを均等に導入することの重要性を明らかにした。本工事で実施したプレストレスの導入手順の検討結果が、今後の同様な橋梁工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事を無事に終わることができたのは、ご指導・ご協力をいただいた皆様と関係各位の尽力の賜物であり、紙面をお借りして深く御礼を申し上げます。



写真 - 11 全 景

参考文献

- 1) 公益社団法人土木学会:2017 年制定コンクリート標準示方書 [設計編], p.38, 2018.3
- 2) 加藤鉄平, 三苦哲也, 日吉直久:南風原バイパス 北丘高架橋 (UDP10～UDA2) の施工について, 第 29 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.623-626, 2020.10

【2021 年 3 月 10 日受付】