

プレキャスト鉄道高架橋における梁部材の収縮ひずみに関する検討

山内 真也*¹・西村 知晃*²

概 要

RC ラーメン鉄道高架橋は、一般に 1 基あたりの延長を 60 m 以下として計画されることが多いが、高架橋 1 基あたりの延長を長くする、いわゆる多径間化を図ることができれば、高架橋間の接続箇所を削減でき、工期短縮および維持管理の観点から有利となる。ラーメン高架橋にプレキャスト工法を適用した場合、梁部材に生じる製作から架設・接合までの収縮ひずみが構造全体に直接作用しないため、高架橋の多径間化が可能になると考えられる。本稿では、プレキャスト工法の特徴を活かしたラーメン高架橋の多径間化を目的として、梁部材に生じる収縮ひずみの経時変化について検討を行った。

キーワード：鉄道高架橋、プレキャスト工法、多径間化、収縮ひずみ、経時変化

A STUDY ON SHRINKAGE STRAIN OF BEAM MEMBERS IN PRECAST RC RAILWAY VIADUCTS

Shinya YAMAUCHI *¹, Tomoaki NISHIMURA *²

Abstract

RC rigid-frame railway viaducts are generally designed with a total length of less than 60 m. Increasing the length of a single viaduct by increasing the number of spans can reduce the number of joints between adjacent viaducts, resulting in shorter construction periods and reduced maintenance costs. When precast construction is applied to RC rigid-frame viaducts, shrinkage strain generated in beam members during fabrication, erection, and jointing is not directly imposed on the completed structure. This characteristic makes it possible to increase the number of spans in an RC rigid-frame railway viaduct. This study investigates the time-dependent development of shrinkage strain in precast beam members to facilitate the extension of RC rigid-frame railway viaducts by taking advantage of the characteristics of precast construction.

Keywords: Railway viaduct, Precast construction method, Increasing the number of spans, Shrinkage strain, Time-dependent development

*1 Foundation/ Structure Group, Research & Development Center

*2 Manager, Foundation/ Structure Group, Research & Development Center

プレキャスト鉄道高架橋における梁部材の収縮ひずみに関する検討

山内 真也*1・西村 知晃*2

1. はじめに

RC ラーメン鉄道高架橋は、縦梁の乾燥収縮ひずみに伴う不静定力（柱頭部に作用する水平力）が過大にならないように、高架橋 1 基あたりの長さに制限（例えば 60m 以下）を設けて計画されることが多い。また、鉄道高架橋間の接続形式は、図-1 に示す単純桁（調整桁）をラーメン構造間に挿入したゲルバー桁式が最も多く適用されているが、高架橋施工完了後に接続部を構築する必要があるため工期が長くなり、支承も必要となるためメンテナンス上の弱点になりやすい。したがって、高架橋 1 基あたりを長くすること（以下、多径間化と表記）ができれば、高架橋間の接続箇所を減らすことができ、工期短縮およびメンテナンス面で有利な構造になると考えられる。

これまでに、鉄道高架橋構築の省人化・省力化を目的に、図-2 に示すように部材をフルプレキャスト化したプレキャスト（以下、PCa と表記）工法を開発・展開している¹⁾。梁部材の PCa 化は、製作から架設・接合するまでの期間に発現する収縮ひずみが高架橋に不静定力として作用しないため、図-3 に示すように梁部材の接合後に発現する収縮ひずみ量（以下、残収縮量と表記）のみを考慮して不静定力を検討すればよく、不静定力が小さくなることで多径間化が可能と考える。既往の研究³⁾からも高架橋を PCa 構造として、コンクリート打設から部材を接合するまでの期間を長くとした場合、接合後の梁部材の収縮ひずみ量が低減され、柱基部の最大曲げモーメントが小さくなることが示唆されている。

本稿では、この PCa 工法の残収縮量を小さくできる特性を活かして多径間化することを目的に、梁部材の収縮ひずみの経時変化について検討

を行ったのでその結果を報告する。

2. 梁部材のモデル化および解析ケース

梁部材の収縮ひずみの経時変化は、有限要素解析システム『DuCOM-COM3』⁴⁾を用いて解析を行った。解析のパラメータとしては、文献^{5),6)}から収縮ひずみに与える影響が大きいと思われる水セメント比、相対湿度、引張鉄筋比を選定した。

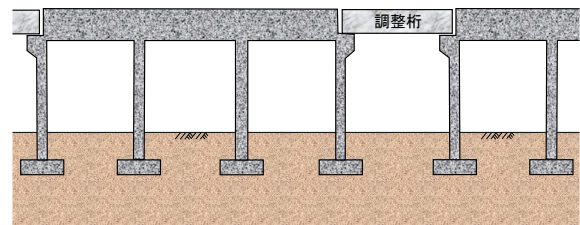


図-1 高架橋の接続形式（ゲルバー桁式）

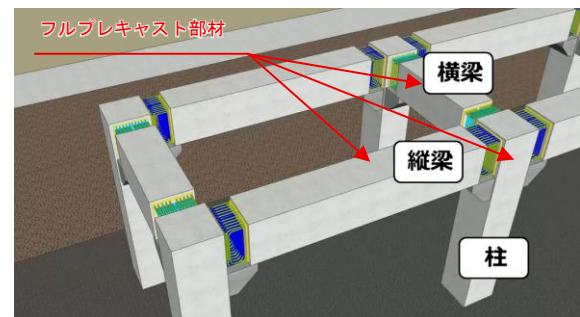


図-2 フルプレキャスト部材による PCa 工法¹⁾

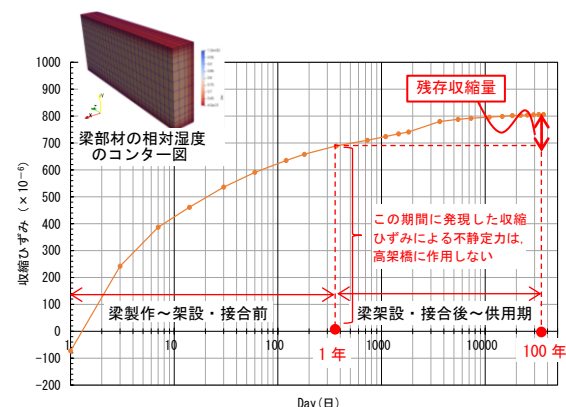


図-3 梁部材の収縮ひずみ経時変化のイメージ²⁾

*1 建設技術総合センター 研究開発センター 基礎・構造グループ

*2 建設技術総合センター 研究開発センター 基礎・構造グループ グループリーダー

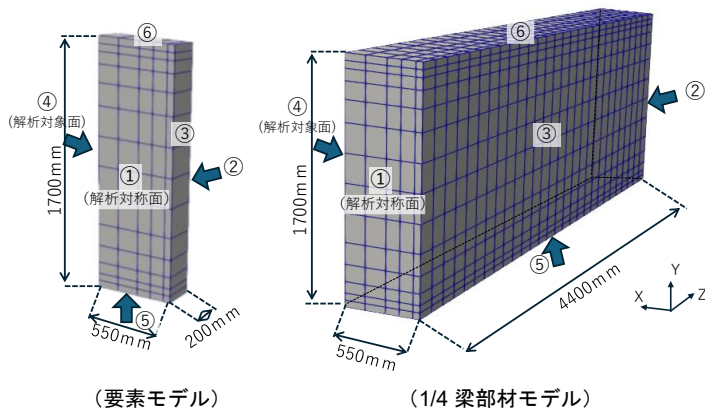


図-4 梁部材のモデル化

図-4 に解析モデルを、表-1 に解析モデルの境界条件を示す。相対湿度と水セメント比については、収縮ひずみが部材軸方向の長さによる影響はないと考え、要素モデルで解析を行い、引張鉄筋比は、鉄筋の拘束効果が部材軸方向の長さにより影響を受けると考え、1/4 梁部材モデルで解析を行った。要素モデル、1/4 梁部材モデルともに3面(③, ⑤, ⑥面)を乾燥面とし、7日間の湿潤養生後に設定した相対湿度で乾燥させる条件とした。各解析モデルにおける解析ケースを表-2, 3に、また各水セメント比の配合を表-4に示す。

3. 収縮ひずみの解析結果

3.1 要素モデルの解析結果

要素モデルの解析では、相対湿度の季節変動を考慮する必要があるかを確認するため、事前解析(CASE.0)として相対湿度の月平均値と年平均値を用いて解析した収縮ひずみの経時変化の比較を行った(図-5)。収縮ひずみ量は、部材自由端面の各接点変位量(Z方向:部材軸方向)の平均値を部材長で除した値を用いており、収縮側を正としている。相対湿度の月平均値を用いた収縮ひずみの経時変化は、年間の湿度変化に伴う変動があるものの、概ね年平均値を用いた場合と同様の傾向を示すため、収縮ひずみの経時変化を確認する場合、相対湿度の年平均値を用いて良いと考えられる。

図-6 に各水セメント比に対する相対湿度を変化させた場合の収縮ひずみの経時変化を示す。図

表-1 解析モデルの境界条件

境界条件 (変形)				0:フリー、1:拘束			
断面	X (梁幅方向)	Y (鉛直方向)	Z (軸方向)				
① (z=0mm)	0	0	1				
② (z=4400mm)	0	0	0				
③ (x=0mm)	0	0	0				
④ (x=550mm)	1	0	0				
⑤ (y=0mm)	0	1	0				
⑥ (y=1700mm)	0	0	0				

境界条件 (温度・湿度)		
断面	気温 (°C)	相対湿度 (%)
① (z=0mm)	境界条件なし	境界条件なし
② (z=4400mm)	境界条件なし	境界条件なし
③ (x=0mm)	20°C	7日養生
④ (x=550mm)	境界条件なし	境界条件なし
⑤ (y=0mm)	20°C	7日養生
⑥ (y=1700mm)	20°C	7日養生

表-2 解析ケース (要素モデル)

Case No.	サイズ (mm)	水セメント比 (%)	引張鉄筋比 (%)	境界条件			
				①②④	③⑤⑥		
					7日養生	気温	相対湿度
0	1700 (高) 550 (幅) 200 (長)	33.2	無筋	境界条件なし	湿度99%	20°C	月平均
1		33.2					50.0%
2		43.5					
3		54.0					
4		33.2					65.0%
5		43.5					
6		54.0					
7		33.2					80.0%
8		43.5					
9		54.0					

表-3 解析ケース (1/4 梁部材モデル)

Case No.	サイズ (mm)	水セメント比 (%)	引張鉄筋比 (%)	境界条件			
				①②④	③⑤⑥		
					7日養生	気温	相対湿度
1	1700 (高) 550 (幅) 4400 (長)	33.2	0.00	境界条件なし	湿度99%	20°C	65.0%
2			0.50				
3			0.75				
4			1.00				
5			2.00				
6		43.5	0.00				
7			0.50				
8			0.75				
9			1.00				
10			2.00				
11		54.0	0.00				
12			0.50				
13			0.75				
14			1.00				
15			2.00				

表-4 各水セメント比の配合表

設計基準強度 (N/mm ²)	粗骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	空気量 (%)
50.0	20	33.2	861	839	4.5
40.0	20	43.5	794	956	4.5
27.0	20	54.0	806	948	4.5

より、水セメント比によらず相対湿度が高いほど最終収縮量は小さくなる傾向を示す。図-7 に相対湿度 65%で水セメント比を変化させた場合の収縮ひずみの経時変化を示す。水セメント比が小さいほど、早期に収縮ひずみが発現しており、既往の研究⁵⁾から自己収縮が卓越したことに起因すると考えられる。

3.2 1/4 梁部材モデルの解析結果

図-8 に図-6 と同様に各水セメント比に対して引張鉄筋比を変化させた場合の収縮ひずみの経時変化を示す。図より水セメント比によらず、引張鉄筋比が大きいほど最終的に発現する収縮ひずみは小さくなる傾向を示し、鉄筋による拘束効果の影響と考えられる。

水セメント比 33.2%の要素モデル (図-6(a)の相対湿度: 65%) と梁部材モデル (図-8(a)の引張鉄筋比 0.5%) を比較すると、梁部材モデルの方が最終収縮量が約 200×10^{-6} 低減しているが、図-8(a)と図-8(b)(c)を比較すると、梁部材モデルも要素モデルと同様に水セメント比が小さいほど早期に収縮ひずみが発現する傾向を示しており、コンクリートに配筋しても収縮の傾向は無筋の場合と同様な結果となった。図-8(a)より、鉄道高架橋の標準的な引張鉄筋比 (0.5~1.0%) の範囲においては、打設後 1 年以降の収縮ひずみの発現はほとんどなく、残存収縮量は小さい。また図-8(b)(c)より、図-8(a)に比べて水セメント比が大きい場合は、上記の引張鉄筋比 (0.5~1.0%) の範囲においても、要素モデルと同様に収縮ひずみが遅れて発生し、残存収縮量が大きい傾向であった。

図-9 に図-8 (a) ①, ②点の Z 方向のひずみ分布を示す。図より、引張鉄筋比 2.0%で収縮ひずみが減少したのは、コンクリートにひび割れが発生し、コンクリートの引張応力が開放されると同時に鉄筋の圧縮応力が低下し膨張したためと考えられる。

4. まとめ

PCa 工法の特性を活用するため、梁部材の収縮ひずみの経時変化について検討した。要素モデル

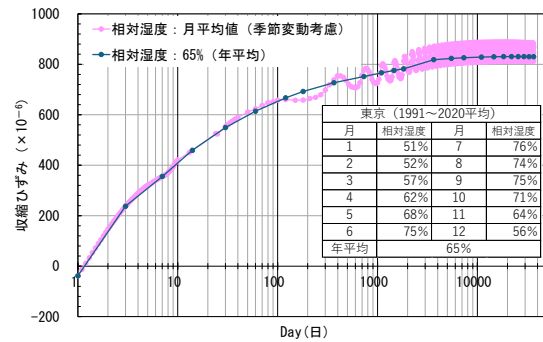
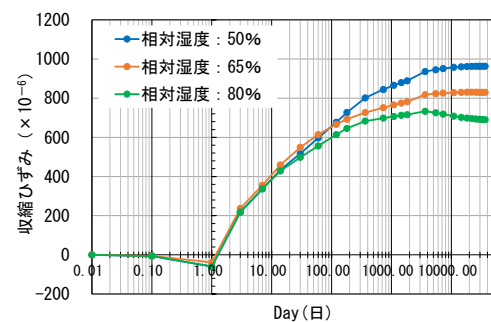
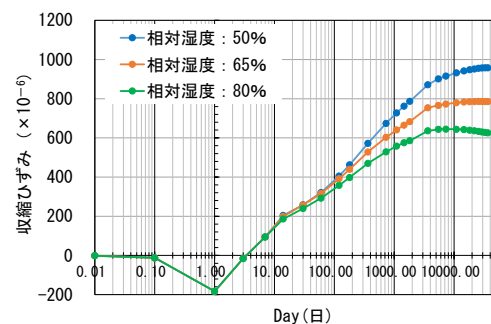


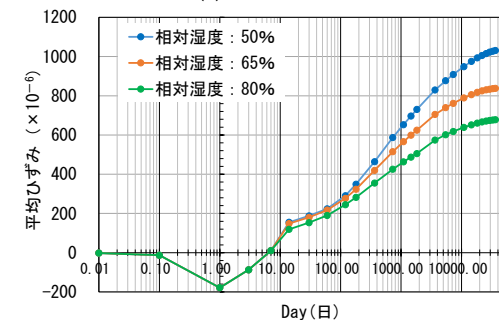
図-5 収縮ひずみの経時変化 (季節変動を考慮)



(a) W/C = 33.2% の場合



(b) W/C = 43.5% の場合



(c) W/C = 54.0% の場合

図-6 収縮ひずみの経時変化 (相対湿度による)

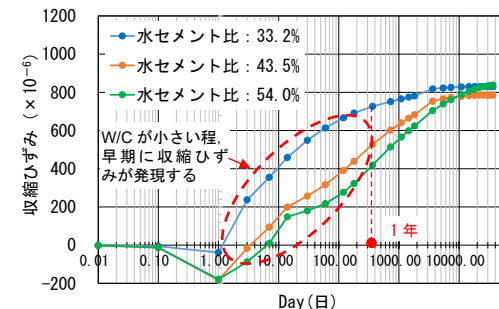


図-7 収縮ひずみの経時変化 (水セメント比による)

の解析結果から、水セメント比が小さいコンクリートを用いることで自己収縮が卓越し早期に収縮ひずみが発現することが分かった。また梁部材モデルの解析結果から、鉄道高架橋の標準的な引張鉄筋比 (0.5~1.0%) の範囲においては、水セメント比が 33.2%と小さい場合は、打設後 1 年以降の収縮ひずみの発現はほとんどなく、残存収縮量は小さい結果となったが、水セメント比が 43.5%, 54.0%と大きい場合は、要素モデルと同様に収縮ひずみが遅れて発生し、残存収縮量が大きくなる結果となった。

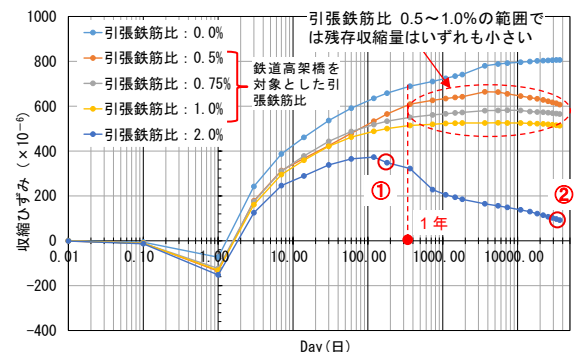
したがって、水セメント比の小さいコンクリートを用いた梁部材を一定期間置くことで、残存収縮による高架橋への影響を小さくすることができ、多径間化の可能性があることが分かった。

謝辞

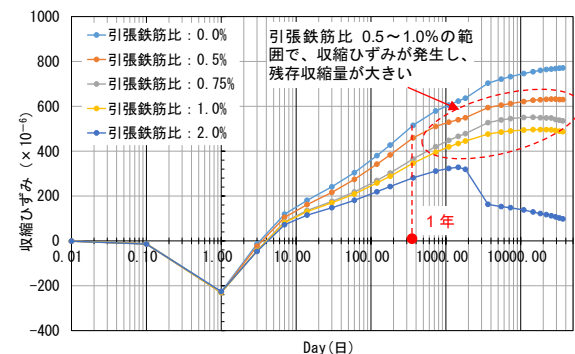
本検討を進めるにあたり東京大学大学院工学系研究科社会連携講座「インフラ材料・構造の次世代性能評価技術の開発」を通じて石田哲也教授（東京大学大学院）より貴重な御助言を賜りました。紙面をもって深く御礼申し上げます。

参考文献

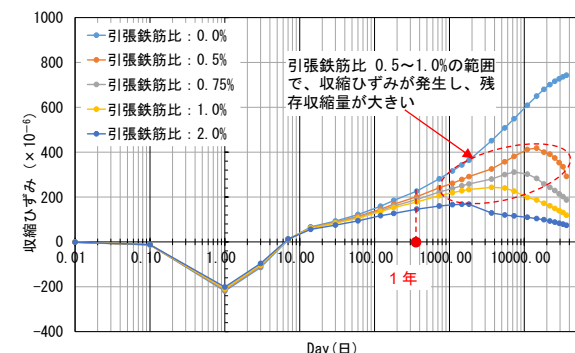
- 1) 安保ら：5日での構築を目指したプレキャスト鉄道高架橋の開発，月刊セメント・コンクリート，Vol.892，pp.34-39，2021.6
- 2) 山内ら：PCaラーメン高架橋における梁部材の収縮ひずみに関する検討，令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会，V-238，2025.9
- 3) 堂内ら：部材の接合時期を考慮したRCラーメン高架橋の不静定力の評価，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，21編，pp.456-461，2021.10
- 4) About DuCOM/COM3，株式会社ソーシャルデザイン研究所，2026.2.26，
<https://sdesignlab.co.jp/ducom3.html>，（参照 2026.2.26）
- 5) 渡邊ら：断面の部位別に時間依存挙動を考慮



(a) W/C = 33.2% の場合



(b) W/C = 43.5% の場合



(c) W/C = 54.0% の場合

図-8 収縮ひずみの経時変化
(外気 20°C, RH = 65%)

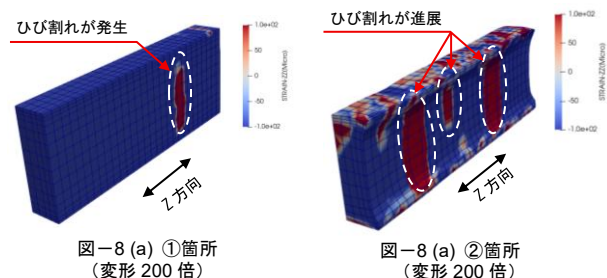


図-9 ひずみ分布 (Z 方向: W/C=33.2%)

した線材モデルによる PC 橋梁の長期たわみ解析，土木学会論文集 E2，Vol.69，No.2，pp.207-226，2013.4

- 6) 石橋ら：RC ラーメン高架橋の温度・乾燥収縮の影響に関する調査 (1)，構造物設計資料，第 77 号，pp.18-24，1984.3

2026 年 7 月 27 日発行