

論文 縦ひび割れの発生した PC まくらぎの健全度評価

箕浦 慎太郎*1・渡辺 勉*2・井上 寛美*3・片山雄一朗*4

要旨：本研究では、縦ひび割れの発生した PC まくらぎの健全度評価を行うことを目的とし、営業線から PC まくらぎを収集し、実態調査及び数値解析による検討を行った。縦ひび割れの発生した PC まくらぎは、曲げ耐荷力については JIS の規格値を満足するものの、埋込栓の破壊荷重、圧縮強度、ヤング係数は健全なものと比較して低下すること、PC まくらぎの側面に発生した縦ひび割れの幅と深さの関係や PC 鋼より線の腐食への影響等を明らかにした。また、数値解析により各種パラメータの影響を評価した。さらに、以上の結果をもとに、縦ひび割れの発生した PC まくらぎの健全度評価指標の例を提案した。

キーワード：PC まくらぎ、経年劣化、縦ひび割れ、耐荷力、数値解析

1. はじめに

プレストレストコンクリートまくらぎ（以下、PC まくらぎという）は工場製品であり、材料的な劣化が発生することは稀であるが、ごく一部にアルカリ骨材反応や硫酸塩膨張等により、図-1 に示すような PC まくらぎの長手方向のひび割れ（以下、縦ひび割れ）が発生する事例が確認されている。このような縦ひび割れが進展すると、PC 鋼より線の腐食による PC まくらぎの曲げ耐荷力の低下、レール締結ボルトの埋込栓の引抜耐荷力の低下、さらに曲線部用の PC まくらぎについては車輪横圧に抵抗するために設けられているショルダー部の欠損等が懸念される。しかしながら、縦ひび割れの発生した PC まくらぎの性能評価に関する検討はこれまで実施されておらず、ひび割れの発生状況と PC まくらぎの耐荷性能や PC 鋼より線の腐食状況との関係性は明らかになっていない。また、健全度の判定あるいは交換の要否を判断する明確な基準も存在しないのが実情である^{1),2)}。

そこで本研究では、このような縦ひび割れの発生した PC まくらぎについて、下記の 4 点を目的として検討を行うこととした。

- (1) 縦ひび割れの発生位置、幅、深さ、PC 鋼より線の腐食状況等について整理する。
- (2) JIS で規定された曲げ試験及び引抜試験を実施し、耐荷力を評価する。また、ショルダー部についても載荷試験を実施し、耐荷力を評価する。
- (3) 数値解析により、縦ひび割れの深さや発生位置が耐荷力に与える影響を評価する。
- (4) 試験結果及び数値解析結果をもとに、縦ひび割れの発生した PC まくらぎにおける健全度判定指標を提案する。

2. 縦ひび割れの発生した営業線 PC まくらぎの実態調査

2.1 対象 PC まくらぎ

表-1 及び図-2 に試験対象 6 号 PC まくらぎの概要を、表-2 に各種材料諸元をそれぞれ示す。今回対象とした縦ひび割れが発生した PC まくらぎは、営業線に敷設されていた在来線用の JIS E 1201 に規定される 6 号プレテンション式 PC まくらぎ 13 本とした。それらの比較用に同じ線区に敷設されていた縦ひび割れの発生していない 6 号 PC まくらぎについても 10 本採取した。6 号 PC まくらぎは、半径 800m 以下の曲線部に用いられる PC まくらぎであり、車輪横圧に抵抗するためにレール座面より 20~30mm ほど断面高さを増加させたショルダー部を有している。なお、PC まくらぎはレール位置断面とまくらぎ中央位置に対して設計を行うのが一般的であるが、このショルダー部についての明確な設計法は現在のところ存在しない。

2.2 検討手法

縦ひび割れの発生した PC まくらぎに関する性能確認試験として、外観調査、コンクリートコア供試体の強度試験、JIS に規定される曲げ試験及び埋込栓の引抜試験、



(a) まくらぎ上面の縦ひび割れ



(b) まくらぎ側面の縦ひび割れ

図-1 PC まくらぎに発生した縦ひび割れ

*1 (公財)鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 工修 (正会員)

*2 (公財)鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 工博 (正会員)

*3 PC まくらぎ研究所 工博

*4 四国旅客鉄道株式会社 工修

ショルダー部に対する載荷試験を行った。

外観調査では、縦ひび割れの発生状況（ひび割れ発生位置、深さ、幅）を調査した。縦ひび割れの深さは縦ひび割れの発生している位置において円柱供試体を複数個採取し、この円柱供試体の側面のひび割れ深さを計測することにより PC まくらぎの縦ひび割れの深さとした。強度試験は PC まくらぎから直径 50mm 高さ 100mm の円柱供試体を採取し、JIS A 1108 及び JIS A 1149 に準拠した方法によりそれぞれコンクリートの圧縮強度とヤング係数を求めた。なお、円柱供試体の直径は PC 鋼より線と干渉するため、50mm が最大の大きさである。小径コアの強度を直径 100mm の供試体に補正する方法も提案されているが、本研究では小径コアで得られた値をそのまま評価に用いることとした。

図-3 に JIS に規定された PC まくらぎの曲げ試験の載荷方法を、表-3 に各断面の曲げ保証荷重及び曲げ破壊荷重を示す。曲げ耐荷力の評価は、JIS E 1201 に準拠した方法で実施した。具体的には、載荷スパンは 700mm として PC まくらぎのレール位置断面及びまくらぎ中央断面の 2 箇所に対して実施した。曲げ保証荷重の値については、初期導入プレストレスの有効率 90% でコンクリートに引張縁応力度 3.0N/mm^2 を発生させる荷重として算定されている。また曲げ破壊荷重の値については、有効プレストレス（初期導入プレストレスの 65%）がまくらぎに発生させる応力の 3 倍の値から求められる荷重として設定されている。

図-4 に埋込栓の引抜試験方法を示す。埋込栓の引抜耐荷力の評価も曲げ耐荷力と同様に、JIS E 1201 に準拠した方法で実施した。なお、JIS に規定される引抜破壊荷重の許容値は 50kN である。また、埋込栓に用いられる材料はポリエステルやナイロン等の樹脂が使用されるのが一般的である。

図-5 にショルダー部の載荷試験方法を示す。ショルダー部の試験方法については、JIS による規定はなく、保証荷重や破壊荷重も定められていない。そこで、図-5 のようなヒンジ部を有する載荷治具を別途構築して載荷試験を実施し、縦ひび割れの無い健全な PC まくらぎの試験結果との相对比较で評価を行うこととした。

2.3 検討結果

(1) 外観調査

表-4 に外観調査の結果を示す。また図-6 にひび割れの発生した PC まくらぎの端部から 160mm の位置での断面図の例を示す。縦ひび割れの幅は最大で 2.0mm 程度、深さはレール位置で最大 55mm 程度であった。縦ひび割れの発生順序などのメカニズムについては今後詳細な検討が必要ではあるが、すべてのサンプルで上面にひび割れが見られたほか、側面及び底面も含めた全面に発生す

表-1 試験対象 6 号 PC まくらぎの概要

種別	緊張方式	年代別本数（本）			合計（本）
		2000 年	1990 年	1980 年	
6 号	プレテンション方式	(2)	(5)	(3)	(10)

※カッコ内の数字は縦ひび割れの無い 6 号 PC まくらぎ本数

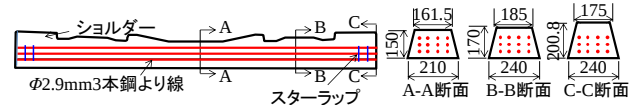


図-2 6 号 PC まくらぎの断面寸法

表-2 6号PCまくらぎの各種材料諸元（設計値）

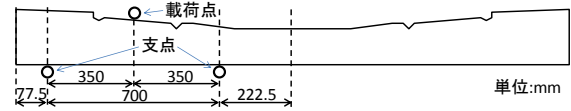
(a)コンクリート

設計基準強度 $f'_{ck}(\text{N/mm}^2)$	49.1
プレストレス導入時強度 (N/mm^2)	39.2
ヤング係数 $E_c(\text{kN/mm}^2)$	33.0
終局ひずみ μ	3500
曲げ圧縮強度 $f'_{cde}(\text{N/mm}^2)$	19.6 ($= 0.4f'_{ck}$)

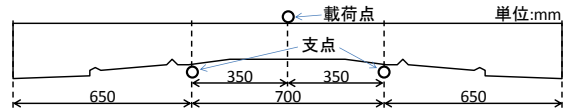
(b)PC 鋼より線

種類, 本数	導入緊張力(kN/本)	有効プレストレス(%)
φ2.9-3 本より線, 12 本	28.7	65

※鋼材の弾性係数 $E_s = 200(\text{kN/mm}^2)$



(a) レール位置(正曲げ)



(b) まくらぎ中央(負曲げ)

図-3 まくらぎ曲げ試験載荷方法（6号 PC まくらぎ）

表-3 曲げ破壊荷重（6号 PC まくらぎ）

断面	曲げ保証荷重(kN)	曲げ破壊荷重(kN)
レール位置断面	82	136
まくらぎ中央断面	67	120

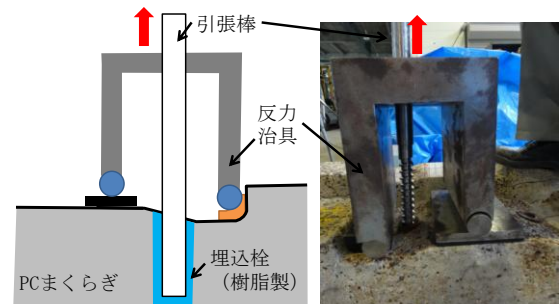


図-4 埋込栓の引抜試験方法

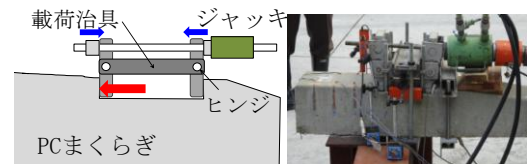


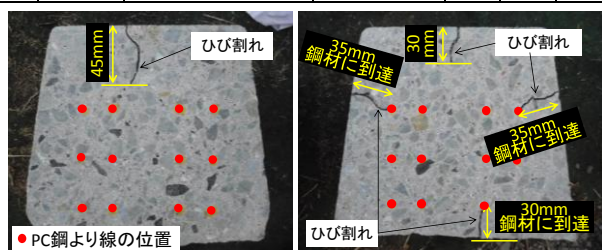
図-5 ショルダー部の載荷試験方法

るものもあった。なお、底面及び側面は PC 鋼より線までひび割れが達していた。

図-7 に上面の縦ひび割れの幅と深さの関係を示す。この図より、ひび割れ幅の増加に伴いひび割れ深さが増加する傾向が確認できた。図-15 において後述するが、側面に発生し PC 鋼より線に達した縦ひび割れによって、

表-4 外観調査の結果

番号	製造年(年)	縦ひび割れ発生位置	ひび割れ深さ(mm) (レール位置)	最大ひび割れ幅(mm)		
				上面	側面	底面
1	1981	上面, 側面	45	0.6	0.2	-
2	1981	上面, 側面	55	0.5	0.1	-
3	1981	上面, 側面, 底面	40	0.6	0.2	-
4	1981	上面, 側面	45	0.7	0.2	-
5	1981	上面, 側面	30	0.4	0.1	-
6	1993	上面	30	0.1	-	0.05
7	1996	上面, 側面, 底面	37	1.1	1.2	0.3
8	1995	上面	30	1.2	-	-
9	1995	上面, 側面, 底面	35	0.5	0.1	0.2
10	1995	上面, 側面, 底面	40	2.0	1.3	0.1
11	1995	上面, 側面, 底面	30	2.0	0.3	0.05
12	1995	上面, 側面, 底面	35	1.5	0.85	0.25



(a) まくらぎ番号 8 (b) まくらぎ番号 12

図-6 縦ひび割れの発生状況の例

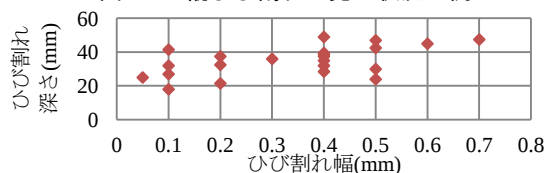


図-7 上面のひび割れ幅とひび割れ深さの関係

PC 鋼より線に発錆が見られる場合があった。側面の縦ひび割れ幅とその深さについては、定量的に相関をみたわけではないが、幅 0.1mm 以上の縦ひび割れが側面に認められる場合、PC 鋼より線の腐食が懸念される、したがって側面や底面におけるひび割れの有無は PC まくらぎの健全度評価において重要な指標となると考えられる。

表-5 および図-8 にまくらぎ上面に発生した縦ひび割れについて、その発生位置がまくらぎの長手方向の中心軸からの偏心量を示す。表-5 および図-8 より、約 1 割の計測点で縦ひび割れの発生位置がまくらぎ長手方向の中心軸から 30mm 以上ずれていることが確認できた。6 号 PC まくらぎの PC 鋼より線は、まくらぎ長手方向の中心軸から 30mm の位置に配置されていることから、縦ひび割れの進展により PC 鋼より線の腐食が懸念される。

(2) 材料強度試験

図-9 に PC まくらぎの経年と圧縮強度及びヤング係数の関係を示す。同図より、縦ひび割れの発生した PC まくらぎは、発生していないものと比較して圧縮強度及びヤング係数が低くなる事がわかる。

(3) 曲げ試験

図-10 に PC まくらぎの曲げ試験における経年とひび割れ発生荷重および破壊荷重との関係を示す。同図より、すべての PC まくらぎにおいて、正曲げ試験及び負曲げ

表-5 縦ひび割れ発生位置とまくらぎ長手方向の中心軸からの偏心量

計測点数	平均(mm)	最大(mm)	分散	30mm 以上の割合
80	13.4	40.0	9.7	11.3%

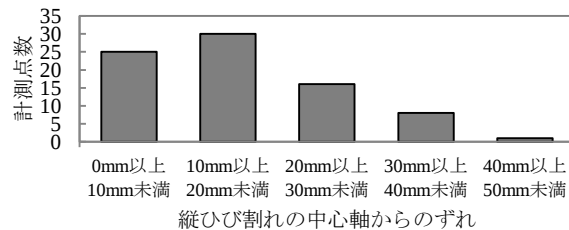
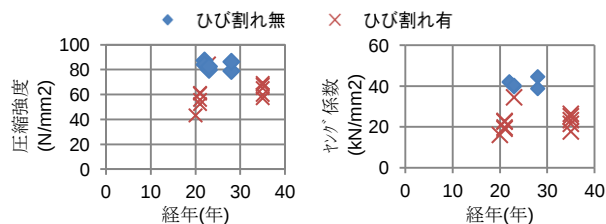
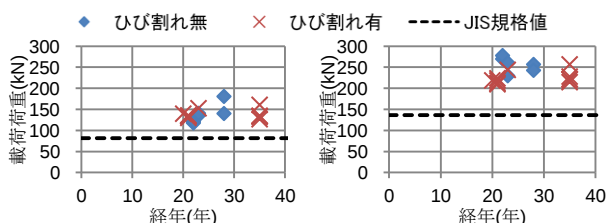
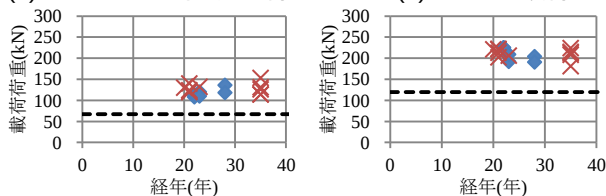


図-8 縦ひび割れ発生位置とまくらぎ長手方向の中心軸からの偏心量

(a) 圧縮強度 (b) ヤング係数
図-9 経年とコンクリートの材料物性の関係

(a) 正曲げひび割れ発生荷重 (b) 正曲げ破壊荷重



(c) 負曲げひび割れ発生荷重 (d) 負曲げ破壊荷重

図-10 経年とまくらぎ試験結果の関係

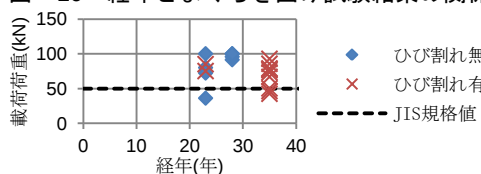
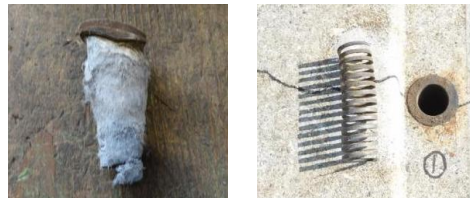


図-11 経年と埋込栓の引抜試験結果の関係



(a) 埋込栓の破断 (b) 埋込栓のねじ山破壊

図-12 埋込栓の引抜試験での破壊形態の例

試験ともに JIS の規格値を上回る結果となり、縦ひび割れの有無による明確な曲げ耐荷力の低下傾向は見られなかった。

(4) 埋込栓の引抜試験

図-11 に埋込栓の引抜試験の結果を、図-12 に埋込

栓の破壊形態を示す。埋込栓の引抜試験では、引拔荷重が100kNに達しても破壊しないケースについてはその時点で載荷を終了した。引抜試験の破壊形態はコンクリート本体の破壊ではなく、図-12に示すような埋込栓の樹脂の破断あるいは埋込栓のねじ山破壊であった。縦ひび割れに起因して周囲のコンクリートも破壊されたケースもあったが、縦ひび割れよりも深い位置にあるコンクリートは健全であり、縦ひび割れ以深では、埋込栓自体が損傷する破壊形態であった。以上のように、今回の試験では縦ひび割れによる引抜破壊荷重への明確な影響はみられなかった。

(5) ショルダー部の載荷試験

図-13にショルダー部の載荷試験の結果を示す。本試験では表-4に示すPCまくらぎとは別のまくらぎを用いた。試験では比較用に縦ひび割れの発生していないPCまくらぎ（縦ひび割れ無）とショルダー部に縦ひび割れが発生していた2本のまくらぎ（縦ひび割れA、縦ひび割れB）を対象とした。今回試験した3体では縦ひび割れの有無によるショルダー部の耐力力への影響は小さいことがわかる。

図-14に載荷試験時のショルダー部の状況を示す。載荷によるひび割れは、元々の縦ひび割れまで進展し、その後まくらぎ端部に到達する。そして、ショルダー部のコンクリート塊が一気に欠損する脆性的な破壊形態であった。なお実際の輪重及び横圧は、レール及び締結装置を介してPCまくらぎに荷重が作用する。しかし、健全なPCまくらぎに対し、レールを締結した状態で輪重および横圧を載荷した試験事例もあるものの、そのような載荷を行うと、ショルダー部にひび割れなどの損傷が発生する前にレールが締結装置から外れていた。今回のショルダー部の載荷試験結果より、縦ひび割れが発生したPCまくらぎにおいても健全なPCまくらぎと比較して最大荷重の低下が少なかったことから、実際の現象よりも安全側の試験結果となったと考えられる。

図-15にショルダー部の載荷試験後の破壊面の状況を示す。このPCまくらぎには、ショルダー部側面にひび割れ幅0.85mmの縦ひび割れが発生していた。破壊面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して中性化の状況を確認したが、縦ひび割れ位置のコンクリートにおいては、中性化が進行していることがわかる。また、外観調査では判別できなかったが、ひび割れに沿った位置のPC鋼より線に発錆がみられた。

3. 数値解析による縦ひび割れの影響評価

3.1 対象PCまくらぎ

本章での検討の対象としたPCまくらぎは、未使用のプレテンション式6号PCまくらぎである。なお、解析

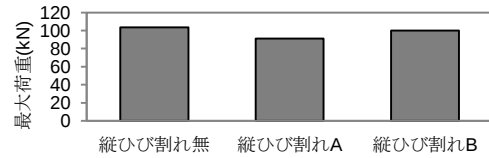


図-13 ショルダー部の載荷試験結果

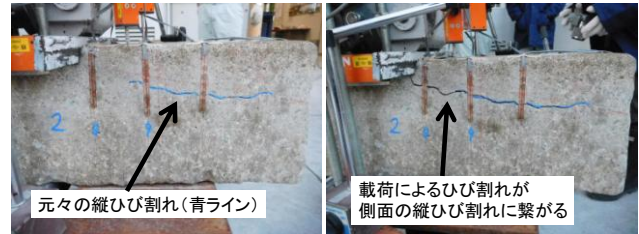


図-14 載荷試験時のショルダー部の状況



図-15 ショルダー部の破壊面の状況

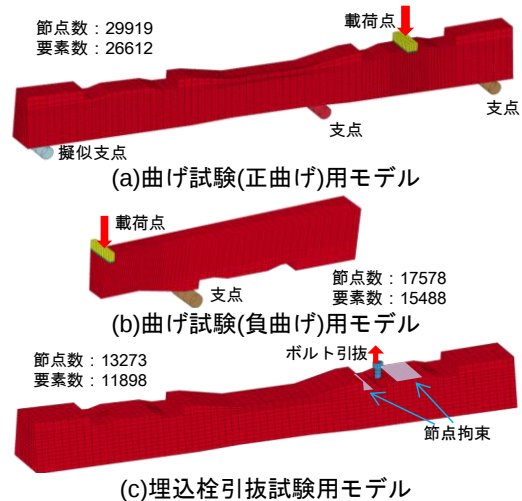


図-16 数値解析モデル

にあたり、比較のために未使用のPCまくらぎに対して実際に曲げ試験(正曲げ、負曲げ)と材料試験を行った。

3.2 解析手法

2章で行った検討と同様に、PCまくらぎの曲げ試験および埋込栓引抜試験を数値解析で再現した。数値解析は構造解析ソフトウェアLS-DYNA (R7.1.2)の陽解法により行った。

図-16に今回用いた数値解析モデルの概要を示す。解析モデルはPCまくらぎの対称性を考慮し、正曲げの曲げ試験を再現した解析ではレール方向に対する1/2モデルとした。また負曲げの曲げ試験を再現した解析ではまくらぎ長手方向及びレール方向に対する1/4モデルとした。なお、図-16(a)中の擬似支点とは、載荷開始前においてPCまくらぎの要素を安定させるために設けた要素であり、載荷開始後はPCまくらぎは擬似支点から離れる。図-16(c)に示す埋込栓引抜試験では、図中に示す

反力治具に相当する接点を拘束し、ボルトの頭部に鉛直上向きの強制変位を与えることで引抜試験を再現した。なお今回の解析では、材料同士の付着特性、劣化状態等引抜耐力に対して影響を及ぼす不明確な要因を排除するため、埋込栓の樹脂等はモデル化せずボルトとコンクリートの節点を共有し滑りが発生しないモデルとした。したがって、数値解析では2章で示した引抜試験のように埋込栓の樹脂の破断やねじ山破壊は発生せずコンクリートの破壊により引抜破壊荷重が決まるため、その荷重は試験結果よりも高い値となる。そこで解析では、各ケースの引抜破壊荷重は絶対値ではなく、基本ケースでの破壊荷重に対する比率で評価することとした。

PC まくらぎのコンクリートは6面体ソリッド要素、PC 鋼より線とスターラップはビーム要素としてモデル化した。また、コンクリートとPC 鋼より線及びスターラップは、完全付着となるようにモデル化した。載荷点は弾性体ソリッド要素、支点は剛体シェル要素としてモデル化した。プレストレスはPC 鋼より線に軸方向の初期応力を与えることで再現した。

表-6に数値解析に用いた材料諸元を示す。PC まくらぎに用いられるコンクリートの実際の圧縮強度は、設計基準強度以上の強度を有していると想定される。このため、数値解析に用いる材料諸元については、表-2に示した設計値を用いずに、JIS 曲げ試験後の実際のPC まくらぎから採取した円柱供試体を用いて、JIS A 1108に準拠した方法により、コンクリートの圧縮強度とヤング係数を求めた。PC 鋼より線については比較的材料諸元にばらつきが小さいと想定されるため、公称値をそのまま用いた。

図-17にPC 鋼より線及びコンクリートの応力ひずみ線図を示す。PC 鋼より線の非線形性は鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造³⁾(以下、コンクリート標準という)を参考に設定した。コンクリートについては、圧壊と引張軟化を考慮したひび割れを再現可能な材料を用いた⁴⁾。

3.3 解析ケース

(1) 曲げ試験

表-7に解析ケースを示す。今回の検討では、2章での検討で確認されたかぶりと同程度のひび割れ深さが発生したケース(縦ひび割れ1)に加え、よりひび割れが進展したケース(縦ひび割れ2)での検討も行った。縦ひび割れの発生位置に相当するソリッド要素を除去することにより縦ひび割れを再現した。なお、縦ひび割れはPC まくらぎ上面の中央部に直線的に発生し、その深さはまくらぎの底面に対して一様であるものとした。また、縦ひび割れの発生によりPC 鋼より線が腐食して有効に機能しなくなった状況を想定し、まくらぎ上端の4本の

表-6 数値解析に用いた材料諸元

名称	コンクリート	PC 鋼より線 (2.9mm 3本より)	スターラップ (φ4)
ヤング係数 (kN/mm ²)	36.5*	200	200
ポアソン比	0.2	0.3	0.3
密度 (kN/m ³)	23	77	77
一軸圧縮強度 (N/mm ²)	103.1*	—	—
一軸引張強度 (N/mm ²)	5.06***	—	—
断面積 (mm ²)	—	19.82	12.56

*JIS A 1108により求めた

**一軸圧縮強度より算定した⁴⁾

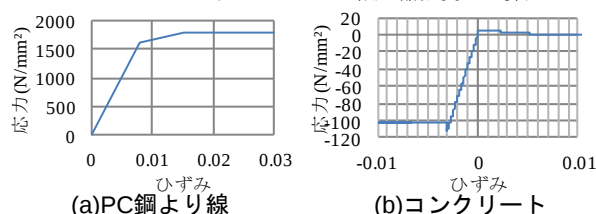


図-17 材料の応力ひずみ線図

表-7 解析ケース(曲げ試験)

解析ケース	レール位置での縦ひび割れの深さ (mm)	上端部の PC 鋼より線の 本数	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
基本ケース	0	4	103.1	36.5
縦ひび割れ 1	47.5 (上端部の PC 鋼より線深さ)	4	103.1	36.5
縦ひび割れ 2	92.5 (中央部の PC 鋼より線深さ)	4	103.1	36.5
鋼線腐食	0	2 (中央部 2 本減)	103.1	36.5
圧縮強度 75	0	4	75	37
圧縮強度 50	0	4	50	33

表-8 解析ケース(埋込栓引抜試験)

解析ケース	レール位置での縦ひび割れの深さ (mm)	上端部の PC 鋼より線の 本数	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
基本ケース	0	4	103.1	36.5
縦ひび割れ 1	47.5 (上端部の PC 鋼より線深さ)	4	103.1	36.5
鋼線腐食	0	2 (中央部 2 本減)	103.1	36.5
圧縮強度 75	0	4	75	37
圧縮強度 50	0	4	50	33

PC 鋼より線のうち、縦ひび割れに近い中央寄りの2本のPC 鋼より線を取り除いたケース(鋼線腐食)の解析も行った。さらに2章の実態調査では、縦ひび割れの発生したPC まくらぎは発生していないまくらぎと比較して圧縮強度が低下する傾向がみられたことから、圧縮強度が低下した条件での解析(圧縮強度75)(圧縮強度50)を行った。なお、圧縮強度が低下した条件での解析において、引張強度及び弾性係数はコンクリート標準³⁾を参考に算出した。

(2) 埋込栓引抜試験

表-8に解析ケースを示す。縦ひび割れ、PC 鋼より線の腐食、コンクリートの圧縮強度をパラメータとして解析を実施した。

3.5 解析結果

(1) 曲げ試験

図-18(a)に曲げ試験と数値解析による正曲げの荷重

変位曲線を、図-18(b)に負曲げの荷重変位曲線を示す。この図に示す通り、特に負曲げにおいて、解析結果の方が実際の試験結果よりも耐荷力が小さくなっているものの、概ね解析で試験結果を再現することができた。また自明ではあるが縦ひび割れが発生しても荷重変位曲線はほとんど変化しなかった。実際の PC まくらぎの縦ひび割れは今回の解析のように完全な直線ではないが、縦ひび割れの有無が直接的に耐荷力の低下に及ぼす影響が小さいことが確認できた。PC 鋼より線の腐食の影響については、負曲げにおいて耐力が低減することが確認でき、最大荷重が約 23%低下したが、正曲げでは影響が少なかった。これは負曲げでは上端部が引張側となるためと考えられる。圧縮強度の影響については、圧縮強度が 50N/mm^2 のケースで正曲げでは 22.4%，負曲げでは 18.1%最大荷重が低下することが確認された。圧縮強度の低下の影響が限定的であったのは、最大荷重は引張側の PC 鋼より線の影響が大きいためと考えられる。

(2) 埋込栓引抜試験

図-19 に埋込栓引抜試験結果を示す。図より、埋込栓の引抜に対しては、ひび割れの有無や PC 鋼より線の腐食は影響が少ないことが確認された。圧縮強度の影響については圧縮強度が 50N/mm^2 のケースで基本ケースに対して 33.0%最大荷重が低下することが確認できた。

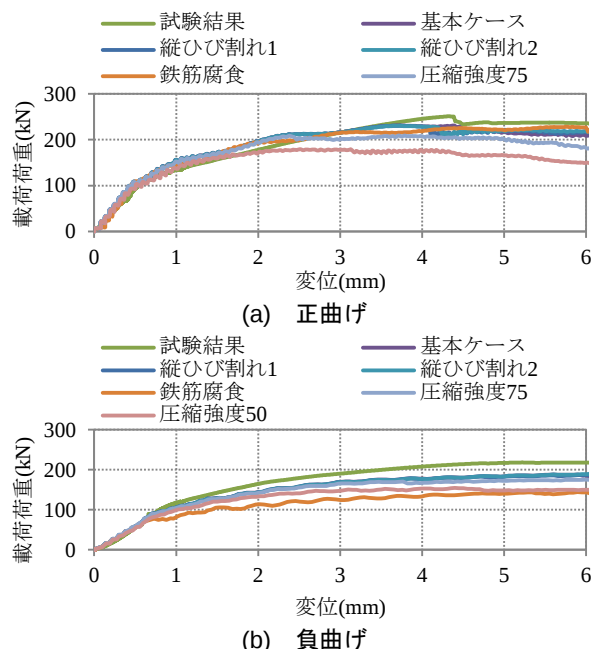


図-18 解析結果（曲げ試験）

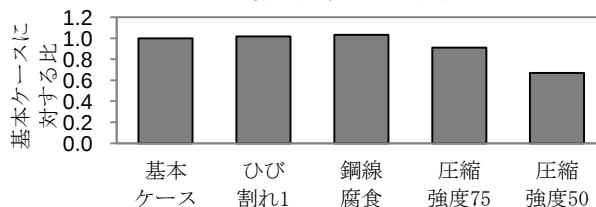


図-19 解析結果（埋込栓引抜試験）

表-10 健全度評価指標の例

健全度	判定基準の例		措置の例
	ひび割れ幅 W(mm)	状態	
A	$W \geq 1.0$	上面や側面に連続的に縦ひび割れ 端部に亀甲状ひび割れ	交換
B	$1.0 > W \geq 0.1$	上面や側面に縦ひび割れ	交換 経過観察
C	$0.1 > W \geq 0.05$	ヘアークラック程度	経過観察
S	健全		

標の例を作成した。

参考文献

- 1) 須江政喜, 奥村悠樹, 堀 雄一郎: 既設 PC まくらぎの劣化状態に関する研究, 第 21 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2014), 2014.12
- 2) 箕浦慎太郎, 渡辺勉, 鈴木大輔, 上半文昭: 営業線 PC まくらぎの摩耗性状とその耐荷力への影響に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, pp.1345-1350, 2015
- 3) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物), 丸善出版, 2004.
- 4) Len Schwer: The Winfrith Concrete Model: Beauty or Beast? Insights into the Winfrith Concrete Model, 8th European LS-DYNA Users Conference, 2011

4. まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) PC まくらぎ上面に発生した縦ひび割れの深さはレール位置で 55mm 程度であった。縦ひび割れの発生位置は、まくらぎの長手方向の中心軸から平均で 13mm, 最大で 40mm 程度偏心することがわかった。さらに、ひび割れ幅が 0.1mm 程度以上の場合、PC 鋼より線が腐食する可能性があることがわかった。
- 2) 縦ひび割れが発生したまくらぎであっても耐荷力の JIS 規格値を上回ることが確認された。しかしながら、緊急性は低いものの PC 鋼より線が腐食する可能性もあるため、縦ひび割れが発生した PC まくらぎは計画的に交換した方がよいと考えられる。圧縮強度やヤング係数については、縦ひび割れが発生したまくらぎで低下する傾向がみられた。
- 3) 数値解析により、PC まくらぎの縦ひび割れにより PC 鋼より線の腐食が発生した場合や、材料劣化が生じて圧縮強度などが低下した場合には、耐荷力が低下することが示された。また埋込栓引抜試験では、圧縮強度などが低下することにより耐荷力が低下することが示された。

以上より、本研究で得られた成果をもとに、表-10 に示す縦ひび割れの発生した PC まくらぎの健全度評価指