

PC まくらぎの埋込栓耐荷力に関する基礎的検討

鉄道総研 正会員 ○箕浦慎太郎
鉄道総研 正会員 渡辺 勉
JR 西日本 正会員 吉川 秀平

1. はじめに PC まくらぎは木まくらぎと比較して高い耐久性を有するが、近年では経年 50 年を超えるものも増加していることから、既設 PC まくらぎの実態調査や交換基準に関する検討が進められている¹⁾。新幹線用の PC まくらぎの一部では、図 1 に示すような PC まくらぎ長手方向のひび割れ(縦ひび割れ)が生じたものが散見されており、そのような PC まくらぎでは埋込栓の耐荷力低下が懸念される²⁾。そこで本研究では、埋込栓の耐荷力低下のメカニズム解明のための基礎検討として、締結ボルトに作用する軸力の実態及びインパクトレンチによる繰返し締結の影響に関する調査を実施した。

2. 調査方法 図 2 に試験の様子を、表 1 に対象とした PC まくらぎと試験内容を示す。締結トルクと軸力の関係を把握するため、トルクレンチ及びインパクトレンチ(マキタ TW1001D)を用いた締結時のボルト軸力測定を実施した。試験時には、図 2 に示すように、短いレール(60kg レール)を用いて通常の使用状態と同様に締結装置を組み立て、試験対象のボルトと反対側のボルトを規定トルク(120Nm)程度となるように締結した後、各試験を実施した。ボルトには事前に塗油を行った。ボルト軸力は、ひずみゲージを埋め込んだ締結ボルトを使用して測定した。トルクレンチを用いた試験では、目標トルクで締結した際の最大軸力と、トルクレンチを取り外して 20 秒程度経過後の軸力を記録した。インパクトレンチを用いた試験では、締結時の軸力測定と、インパクトレンチにより締結・緩解を繰り返すことで埋込栓が破壊に至るまでの状況を確認する繰返し締結試験を実施した。締結時間はいずれの試験も 10 秒間とした。

図 3 に新幹線の営業線でのボルト軸力測定の対象現場を、図 4 に輪重横圧ゲージの設置状況を示す。営業線でのボルト軸力の実態調査として、曲線区間(曲線半径 4000m、カント 180mm)に敷設された 4 本の PC まくらぎ(3H)を対象とした現地試験を実施した。調査では、軸力測定用ボルトを使用した列車通過時の軸力測定と、輪重横圧ゲージによる輪重測定を実施した。

3. 調査結果 表 2 にトルクレンチによる締結時の軸力を示す。表より、まくらぎ 2 において 120Nm で締結した際の最大軸力は 15.77kN であり、規定トルク程度であれば JIS で規定された引抜保証荷重(30kN)や引抜破壊荷重(50kN)に対して余裕がある。また締結後に平均して 1.56kN の軸力低下がみられた。

図 5 にインパクトレンチによる締結時の軸力を示す。インパクトレンチで締結した場合には、締結後の軸力低下はほとんど



図 1 縦ひび割れの生じた PC まくらぎの例



図 2 試験の様子

表 1 対象 PC まくらぎ及び試験内容

まくらぎ番号		まくらぎ 1	まくらぎ 2	まくらぎ 3
まくらぎ種別		3T	3T	3H
製造年		1979	1979	1973
試験項目 及び対象 埋込栓	締結時軸力測定 (トルクレンチ)	製造年 FC	製造年 FC	-
	締結時軸力測定 (インパクトレンチ)	製造年 FC	-	-
	繰返し締結試験	メーカー GC、 製造年 FC	製造年 FC	製造年 GC

※「製造年」「メーカー」は PC まくらぎの各刻印のある側を示す
※「FC」はフィールドコーナー、「GC」はゲージコーナー

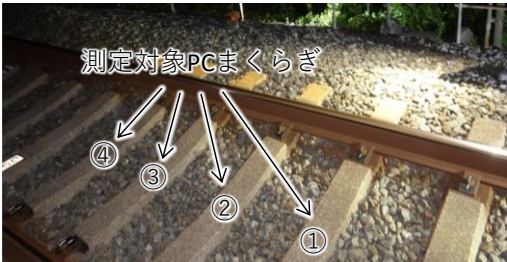


図 3 対象現場



図 4 輪重横圧ゲージ設置状況

キーワード PC まくらぎ、締結ボルト、埋込栓、新幹線、現地調査

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

(公財) 鉄道総合技術研究所 軌道力学 TEL 042-573-7291

見られなかった。10 秒間の締結で最大ボルト軸力は 30.47kN となっており、JIS で規定された保証荷重と同程度となっていた。在来線用の経年 PC まくらぎを対象とした調査では、埋込栓の引抜試験において、50kN 以下で破壊に至るものも散見されたことから³⁾、インパクトレンチ使用による過緊締により、埋込栓破壊に至る可能性はあると考えられる。

図 6 にインパクトレンチによる繰返し締結回数と緩解時の最大トルクを示す。まくらぎ 1(製造年側 FC)及びまくらぎ 3(製造年側 GC)では最終的に埋込栓のねじ山破壊に至ったが、それ以外では 20 回繰返し締結後も埋込栓周辺に目立った変化は現れなかった。また、まくらぎ 1 では、同じ PC まくらぎの埋込栓であっても、一方は 13 回の繰返し締結で破壊に至ったが、もう一方は目立った変状は現れないといったように、状況が大きく異なった。

図 7 に破壊に至った埋込栓の状況を示す。埋込栓の破壊は、まず埋込栓付近の上面のコンクリートが剥離し埋込栓が徐々に浮き上がる。そして、埋込栓上端が締結装置の板バネの下面と接触すると、埋込栓のねじ山のみで荷重を受けようになり、最終的にねじ山破壊に至ったと考えられる。

図 8 に現地試験での測定結果の時刻歴波形を示す。周辺の電気設備の影響とみられるノイズの除去のため、測定結果にはフィルタ処理を施している。時刻歴波形に示すように、各軸通過時に列車荷重によりパッド等が押さえつけられることで、ボルト軸力は低下する方向に変動していた。

図 9 に現地試験での測定結果と列車速度との関係を示す。輪重に関しては、速度の上昇につれて応答が大きくなる速度依存性が確認できた。これは現場が曲線区間であり、列車通過時の遠心力の影響と考えられる。一方で、ボルト軸力には速度依存性や線形の影響もほぼ見られなかった。また、軸力の変動成分は締結時の軸力(約 14kN)や JIS 規格値と比較しても小さい値となっていた。

4. まとめ 本研究では、締結時のボルト軸力の実態及びインパクトレンチによる繰返し締結の影響に関する調査を実施した。その結果、インパクトレンチで 10 秒間の締結を行うと JIS 規定の保証荷重(30kN)と同程度のボルト軸力が生じること、繰返し締結の埋込栓への影響は同じ PC まくらぎであっても埋込栓ごとに大きく異なることなどを確認した。また、営業線での調査の結果、列車通過時に軸力は減少する方向に変動し、変動幅は締結時の軸力や JIS 規格値と比較しても小さい値であることを明らかにした。

参考文献 1)渡辺勉, 後藤恵一, 箕浦慎太郎: 経年 PC まくらぎの余寿命評価, 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, Vol.21, pp.496-501, 2021 2)箕浦慎太郎, 渡辺勉, 吉川秀平: 新幹線用 PC まくらぎに生じた縦ひび割れの実態と耐荷力との関係, 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2022), Vol.29, No.S2-2-2, pp.41-44, 2022 3)箕浦慎太郎, 渡辺勉, 井上寛美, 片山雄一郎: 縦ひび割れの発生した PC まくらぎの健全度評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.1585-1590, 2016

表 2 トルクレンチによる締結時の軸力

まくらぎ番号	まくらぎ 1		まくらぎ 2	
目標トルク [Nm]	最大軸力 [kN]	最終軸力 [kN]	最大軸力 [kN]	最終軸力 [kN]
80	-	-	12.26	10.92
100	8.21	6.13	14.48	12.97
110	8.46	7.33	15.20	13.82
120	9.66	8.34	15.77	14.39
130	10.90	9.32	16.65	15.05
140	11.32	9.73	17.13	15.63
150	13.31	11.14	17.14	15.71
200	-	-	20.21	18.48

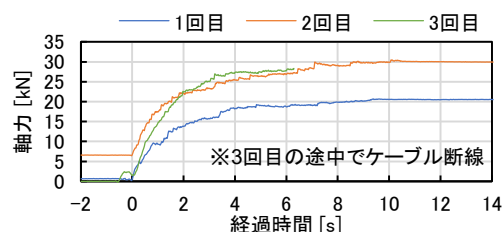


図 5 インパクトレンチによる締結時の軸力

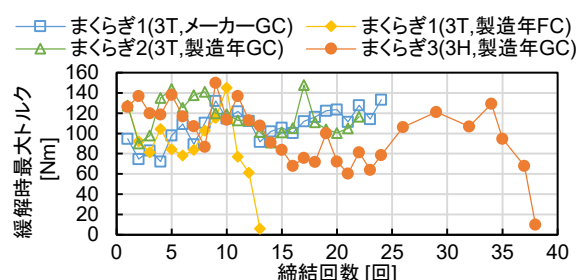
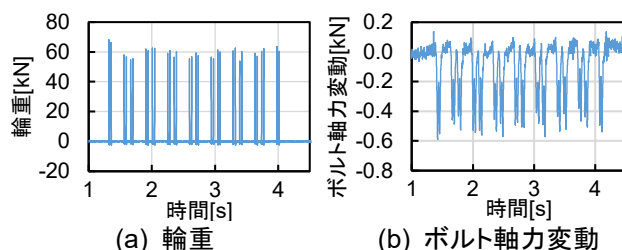


図 6 繰返し締結回数と最大トルク

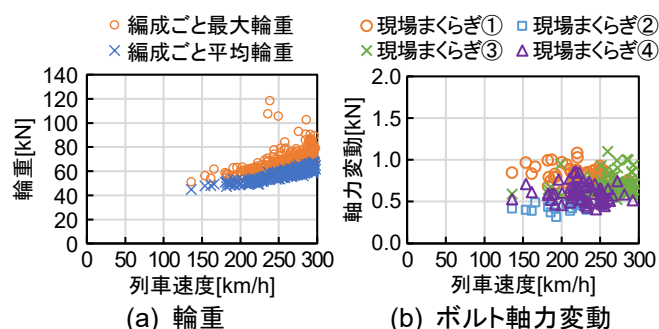


図 7 埋込栓破壊の状況



(a) 輪重 (b) ボルト軸力変動

図 8 現地試験測定結果の時刻歴波形



(a) 輪重 (b) ボルト軸力変動

図 9 測定結果と列車速度との関係