

PC 鋼材非破壊検査定性法の活用に関する検討

PC 鋼材非破壊検査協会（高速道路総合技術研究所） 正会員 長谷 俊彦
PC 鋼材非破壊検査協会（日本ピーエス） 正会員 濱岡 弘二
PC 鋼材非破壊検査協会（川田建設） 正会員 ○北野 勇一
PC 鋼材非破壊検査協会（INREM） 正会員 廣瀬 誠

1. 目的：現在、PC 鋼材に関連する非破壊検査技術は、PC 鋼材の破断を特定する技術、PC グラウトの充填状況を把握する技術、残存プレストレスを推定する技術があり（表 1）、それらの検査方法を複数組合せて PC 構造物の健全度評価を実施している。しかしながら、それぞれの非破壊検査の特徴を捉えて活用方法や評価方法を検討するための臨床データの不足が普及の妨げとなっていると考えられる。とくに、PC 鋼材非破壊検査の結果を PC 構造物の耐力評価に用いる際は、検査効率の高い定性法の有効活用が課題である。そこで、著者らが蓄積した臨床データに基づき、PC 鋼材非破壊検査定性法の適用向上策や検査精度について検討した。

2. 定性法の活用意義：PC 鋼材非破壊検査の分類例を表 2 に示す。X 線透過法や応力解放法は、測定原理、検査機材の設置、労力および費用等の制約から構造物の一部を検査するのが一般的である。漏洩磁束法（MFL）や広帯域超音波法（WUT）は、この制約が小さく検査効率も高い。このため、MFL と WUT は定性法でありながら、構造物を全体的に検査することで、PC 鋼材破断やグラウト充填不足の発生位置と範囲を定量把握できる。また、現地載荷試験では検出できない変状を MFL と WUT では検出でき、PC 構造物の健全度評価をより精緻に実施できる可能性もある。

3. 定性法の適用向上策：MFL の検査可能範囲の一例を図 1 に示す。本例は桁長 22.2m のポストテンション方式 PC 単純 T 桁の検討結果¹⁾であり、PC 鋼線 12φ5 の総延長 162.1m 中、検査可能範囲 120.5m、適用率 74%(=120.5/162.1)であった。範囲①と③が適用不可なのは検査機材が設置不可であり、範囲②と④は測定原理的に検査不能なためである。MFL の適用率を上げるには、例えば桁端部側ウェブ内の曲上げ PC 鋼材の箇所のグラウト充填状況を WUT により確認するなど、適用不可部を他の検査法に代替することが有効である。これにより、MFL は支間中央の下フランジ内 PC 鋼材に絞れ、適用率を 88%（内部鋼材で着磁できない C6 が検査不可のため 7/8 本が検査可能）に向上できる。また、グラウト充填不足は PC 鋼材上部に発生する傾向にあり²⁾、検査箇所を桁端部側ウェブ内の曲上げ PC 鋼材に絞ることで、WUT の適用率を 100%に向上できる。

表 1 PC 鋼材非破壊検査法の一例

検査項目 検査法	PC 鋼材破断	グラウト充填	プレストレス
X 線透過法	○	○	
漏洩磁束法	○		
広帯域超音波法		○	
応力解放法			○
現地載荷試験			○

表 2 PC 鋼材非破壊検査の分類例

分類	箇所	構造物の一部を検査する	構造物を全体的に検査する
定性法	X 線透過法		漏洩磁束法* 広帯域超音波法
定量法	応力解放法		現地載荷試験

*測定原理上、漏洩磁束法は定量評価が可能であるが、ここでは破断の有無を定性評価する場合に限定した。

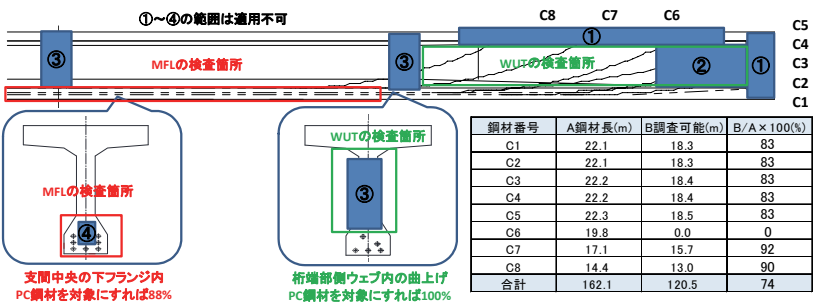


図 1 漏洩磁束法の検査可能範囲（文献 1 を加筆）

表 3 変状有無と検査判定の関係

判定	変状	変状有	変状無
陽性（変状有）		真陽性 a	偽陽性 c
陰性（変状無）		偽陰性 b	真陰性 d
検査精度		感度 a/(a+b)	特異度 d/(c+d)
検査総数 e=a+b+c+d, 陽性率 (a+b)/e 陽性的中率 a/(a+c)			

キーワード PC 鋼材, 非破壊検査, 漏洩磁束法, 広帯域超音波法

連絡先 〒114-8505 東京都北区滝野川 6-3-1 川田建設株式会社 TEL 03-3915-5384

4. 定性法の検査精度：変状有無と検査判定の関係は表 3 に示すとおり 4 象限に分かれる。検査精度の指標には、変状有を陽性とする「感度」、変状無を陰性とする「特異度」がある。

MFL 臨床例を表 4 に示す。MFL は磁束密度分布波形より、右上がりの概ね直線的な分布波形を陰性、磁束密度の差が大きい S 字形の波形が確認された場合を陽性と判定した。事例 A～D の検査総数は多くないが、感度および特異度とも平均 100%であった。

WUT 臨床例を表 5 に示す。WUT はシースかぶり深さ付近のピーク波形の周波数帯域が低／高（40kHz 以下／70kHz 付近）であるか確認しグラウト充填／充填不足を判定する。本検討では、両者の中間的な波形と充填不足の波形を陽性、充填の波形を陰性とした。その結果、WUT の感度は平均 90%、特異度は平均 86%であることが確認された。

以上より、MFL は検査精度が高いと言われる COVID19 用 PCR 検査（感度 90%以上、特異度 99%以上）³⁾に匹敵し、臨床に十分使える検査法といえる。一方、WUT は感度が高く変状有を見逃さない有効な検査法であるが、インフルエンザ用簡易検査（特異度 95%以上）⁴⁾よりも特異度が低い。このため、陽性率が低い集団に WUT を適用した場合は、変状無（陰性）を変状有（陽性）と誤判定する割合が増大する（図 2）。

5. 考察：WUT と MFL の適用時期を図 3 に示す。WUT は、事前スクリーニングし、陽性率が高い集団に適用することが望ましい。例えば、「1990 年代以前の PC 桁上縁定着ケーブル定着部近傍」はグラウト充填不足が平均 24.9%（全長の平均は 7.9%）であり²⁾、これに加え「PC 鋼材に沿った水しみやひび割れなどグラウト充填不足の疑われる変状」が確認された場合に WUT を実施すると陽性的中率が大幅に向上する可能性が高い。また、MFL は検査精度が極めて高いため、PC 鋼材腐食が顕在化する前に適用することで費用対効果を極大化できると考える。ただし、PC 構造物に曲げひび割れが生じた後にこれらの検査法を適用することは、すでに耐力力が大幅に低下し、対策が手遅れとなる可能性があることに注意を要する。

6. まとめ：本検討を通じ、PC 鋼材非破壊検査定性法である MFL と WUT の適用向上策と検査精度を明らかにした。これらの検査法を上手に活用し PC グラウトの充填状況と PC 鋼材の破断を的確に捉えることで、PC 構造物の耐力評価の高度化や維持管理費用の最小化が期待できることを示した。なお、PC 構造物の維持管理にあたっては、劣化シナリオが解明されている水と塩の侵入およびグラウト充填不足に対し予防保全的に先手を打つことが肝要である。

参考文献 1)長谷ら：漏洩磁束法による撤去 PC 桁の PC 鋼材破断調査，令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会，V-353，2020.9 2) 石田ら：道路橋のメンテナンス技術の高度化―撤去 PC 桁を用いた臨床研究―，PC 工学会第 45 回 PC 技術講習会，pp.1-24，2017 3)日本感染症学会：COVID19 検査法および結果の考え方，2020.10 4)原ら：A 型インフルエンザに対する 3 種類のイムノクロマト法迅速診断キットの比較検討，感染症学会誌第 78 巻第 11 号，pp.935-942，2004.11

表 4 MFL 臨床例

事例	A	B	C	D	平均
真陽性(箇所)	0	1	3	1	-
偽陽性(箇所)	0	0	0	0	-
真陰性(箇所)	5	6	9	1	-
偽陰性(箇所)	0	0	0	0	-
感度(%)	-	100	100	100	100
特異度(%)	100	100	100	100	100
陽性率(%)	0	14	25	50	-

表 5 WUT 臨床例 (PC 鋼線)

事例	E	F	G	H	平均
真陽性(箇所)	18	5	3	4	-
偽陽性(箇所)	8	2	0	0	-
真陰性(箇所)	25	9	4	0	-
偽陰性(箇所)	0	1	1	0	-
感度(%)	100	83	75	100	90
特異度(%)	76	82	100	-	86
陽性率(%)	35	35	50	100	-

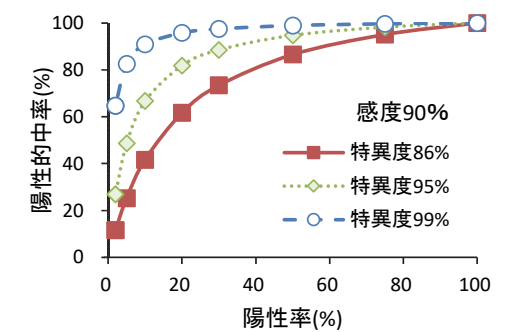


図 2 陽性率と陽性的中率の関係

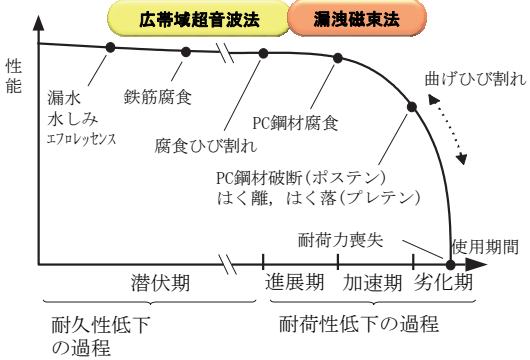


図 3 PC 鋼材非破壊検査定性法の適用時期