

計測位置が電磁的入力による PC グラウト非破壊評価結果に及ぼす影響の解析的検討

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○蔭 臣俊
大阪大学大学院工学研究科 正会員 寺澤 広基

大阪大学大学院工学研究科 正会員 服部 晋一
大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎

1. はじめに

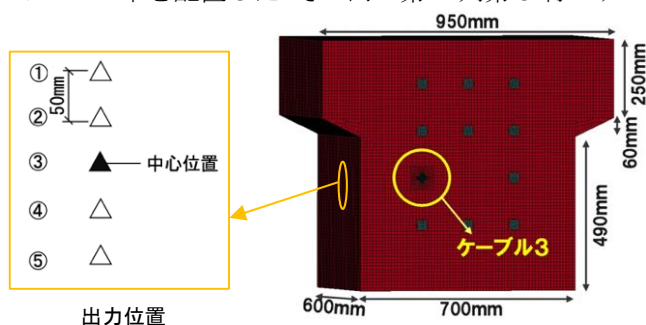
PC ケーブルのシース内に PC グラウト充填不良部分が存在すると、そこへ雨水や海水或いは凍結防止剤を含んだ水が浸入することにより、PC 鋼材が腐食し、最終的に破断に至ることがある。PC グラウト充填不良が原因で PC 鋼材が腐食し破断する場合、破断時の衝撃エネルギーによりコンクリートが剥落する事例が近年報告され、状況によっては第三者被害が起こる可能性がある。

PC グラウト充填状況を評価する方法の一つに、電磁パルス法がある。電磁パルス法とは、パルス状の磁場によりコンクリート内部の磁性体を非接触で加振し、センサーを用いて磁性体の振動に伴う弾性波応答或いは電磁場応答を検出する非破壊検査手法である。電磁パルス法による計測結果は、シースの寸法や、かぶりによる影響が大きい。実橋における計測の精度を向上させるためには、実橋の構造に着目し、これらの条件の影響を評価する必要がある。

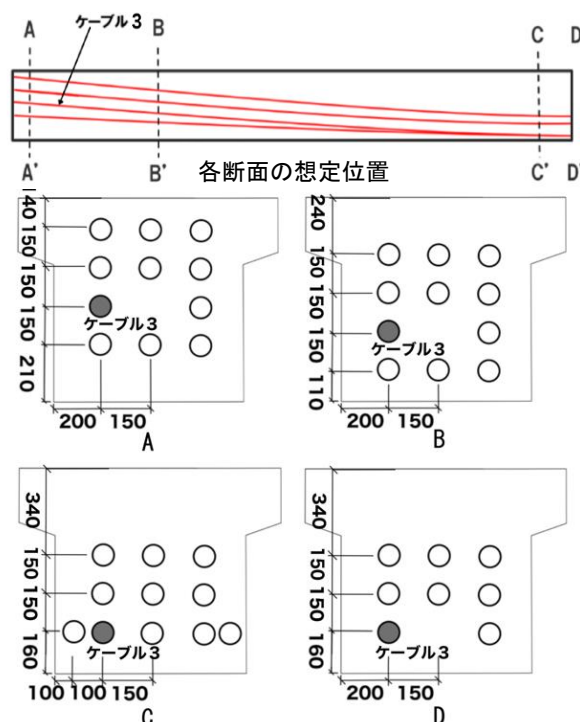
実橋計測では、計測対象とするケーブルにおける複数の計測箇所の計測結果を比較し、充填状況を評価する。しかし、構造物内の弾性波の反射を考慮すると、計測位置と桁底面の間の距離により、同じかぶり条件でも計測結果が変化する可能性がある。本研究では、三次元衝撃応答解析を用いて実橋における電磁パルス法の計測位置が充填状況評価に与える影響を検討した。

2. 解析概要

解析モデルの寸法を図—1に示す。また、断面のケーブル配置を図—2に示す。解析は、A から D まで4つのモデルを使用した。モデルはいずれも高さ 800mm の T 型桁で桁端部 A' から桁中央部 C' へ向けての配置を想定している。モデル A は実橋の端部に相当し、内部でケーブル 11 本を配置した。その内の第 1 列第 3 行のケー



図—1 解析モデルの寸法と出力位置



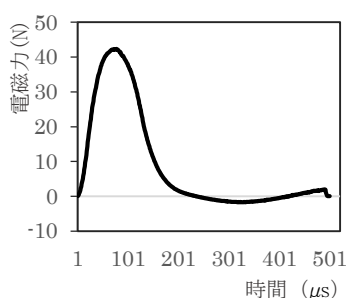
図—2 ケーブル配置

ブル（ケーブル 3）において入力および出力条件を設定した。モデル B はモデル A の全ケーブルを下に 100mm 移動したものに相当する。モデル C は実橋の中央部に相当する。モデル C のケーブル 3 において、周囲のケーブルの位置がモデル A, B と相違する。その影響を評価するため、移動したケーブルを除去したモデル D を使用した。各モデルの入力位置と桁底面の距離はそれぞれ 360mm, 260mm, 160mm, 160mm であった。

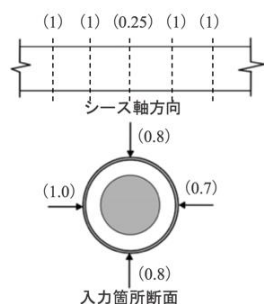
シース径と鋼棒径は 35mm, 24mm とし、ケーブル 3 のかぶりはいずれも 182.5mm とした。衝撃入力の波形は、供試体実験においてシース上に設置したサーチコイルで計測された誘導電流と励磁コイルへの通電電流の積で得られる電磁力波形（図—3）を採用した。衝撃入力点はシース軸方向の 50mm ごとに 5 つの断面において上下左右 4 方向に設定し、合計 20 点で入力した。¹⁾ シース軸方向と断面の各入力点の衝撃力の大きさは図—4 に示す。各材料の特性値を表—1 に示す。弾性波の出力は入力中心位置の正面のコンクリート表面の縦方向で間隔 50mm の 5 つの出力点に設定した（図—1）。出力時間間隔は 1 μ s, サンプル数は 10000 とした。また、解析モデルの要素の最大寸法は 10 mm とした。

キーワード PC グラウト, 充填評価, 非破壊評価, 電磁的入力方法, 三次元衝撃応答解析

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院工学研究科 TEL/FAX 06-6879-7618



図—3 入力波形



図—4 衝撃入力配置

表-1 材料特性

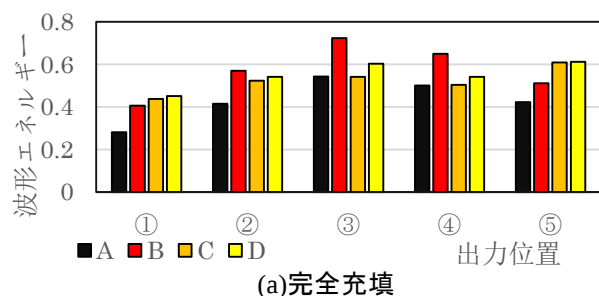
	密度 (kg/m ³)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	2.3×10^3	30	0.2
グラウト	1.8×10^3	23	0.2
鋼材	7.9×10^3	200	0.3

3. 解析結果および考察

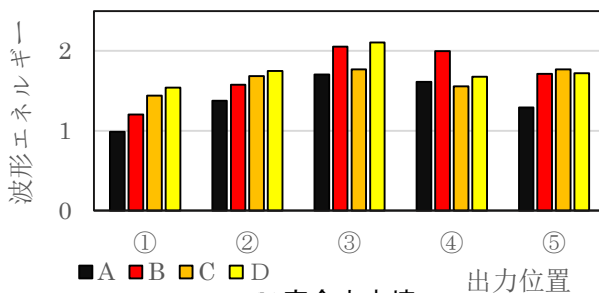
解析で得られた時刻歴応答波形により算出した波形エネルギーを評価指標として使用した。図—1に示す5つの出力位置において、各モデルのケーブル3が充填および未充填の場合の波形エネルギーを図—5に表す。波形エネルギーは時刻歴応答波形の各サンプリング点における振幅値の2乗和で定義し、以下に示す式(1)により算出した。

$$E = \sum_{i=0}^n y_i^2 \quad (1)$$

ここで、 E は波形エネルギー、 y_i は応答波形の各サンプリング点における振幅値、 n は時刻歴応答波形におけるサンプリング数($n=10000$)である。



(a)完全充填



(b)完全未充填

図—5 波形エネルギー

出力位置の影響に着目すると、モデル A とモデル B において、充填及び未充填の波形エネルギーはいずれも出力位置③（入力中心位置）で最大となった。しかし

モデル C とモデル D においては、桁底面に一番近い出力位置⑤で波形エネルギーが最大となった。波動伝播解析により、桁側面と底面間の弾性波の反射によるノイズ信号の増大がその原因であることが確認された。

入力位置の影響に着目すると、出力位置①、⑤の波形エネルギーでは、入力位置と底面間の距離が小さくなるモデル A から D へ向けて値が増大した。一方、出力位置②、③、④においては、モデル B より底面に近いモデル C と D の波形エネルギーが小さくなった。また、モデル A から B までにおいて、完全充填及び完全未充填の波形エネルギーはそれぞれ 33.3%, 20.4% 増大した。

周囲のシースの影響に着目すると、移動したケーブルを除去したモデル D の完全充填及び完全未充填の波形エネルギーがモデル C よりそれぞれ 11.4%, 19.0% 増大した（出力位置③）。

4. 実橋計測に対する検討

解析結果より、ケーブル配置が桁位置により変化する実橋計測においては、計測位置が PC グラウト充填状況の評価精度に与える影響が大きいことが確認された。解析では、完全未充填の波形エネルギーと完全充填の波形エネルギー比が平均 3.0 に達したが、実橋計測で完全未充填に至らない充填不良のシースもあり、さらに周囲のシースや鉄筋の振動の影響も存在すると考えられるため、計測位置の影響を無視することはできない。特に充填不良が発生しやすい桁端部では、モデル A とモデル B の解析結果により、同じかぶり条件でも計測位置による波形エネルギーの変化が大きく表れる。

一方、計測位置に対する波形エネルギーの変化は、出力位置により相違する。垂直方向で出力位置が入力位置と近い場合（図—5(a)出力位置③に参照）、計測位置と桁底面の距離の減少により、波形エネルギーはまず増大してから減少する。出力位置が入力位置と遠い場合（図—5(a)出力位置⑤に参照）、計測位置と桁底面の距離が減少することにより、波形エネルギーは増大する。このように変化の傾向が相違する原因はコンクリート境界面間の波の反射の影響であると推定される。

5. まとめ

実橋計測において、1つのケーブルの各計測箇所の波形エネルギーを比較して充填状況の評価を行う場合は、対象橋梁のケーブル配置に対する事前の解析により、計測位置に対する補正係数を導入する検討が必要となる。

参考文献

- 1) 劉軒, 内田慎哉, 鎌田敏郎, 服部晋一, 寺澤広基: 電磁パルス法に基づく PC グラウト充填評価における弾性波の入力方法に関する解析的検討, 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, 第 15 巻, pp.465-470, 2015.10