

衝撃弾性波法によるひび割れ補修状況の確認実験

ESTIMATION OF REPAIRED CRACKED CONCRETE STRUCTURE

BY THE IMPACT ELASTIC WAVE METHOD

リック(株) 岩野 聡史

独立行政法人 土木研究所 森濱 和正

コンクリート構造物の維持管理対策である補修について、実際の補修施工が計画通りに実施されたことを評価し、確認することは有効であると考えられる。今回は注入工法によるひび割れ補修結果を衝撃弾性波法により確認する方法について検討した。その結果、適当な波長となる鋼球でレイリー波を入力し、補修の前後および健全部とのレイリー波速度の測定結果の比較により、内部を含めた充填状況を確認できる可能性が示された。

キーワード：衝撃弾性波法、ひび割れ、レイリー波速度、補修

1. はじめに

コンクリート構造物の維持管理対策として、様々な工法による補修が実施されている。補修はコンクリートの劣化進行を抑制すること等を目的とした対策であることから、コンクリート構造物の維持管理において、必要不可欠な手段であると考えられる。しかし、実際の補修施工が計画通りに実施されなければ、維持管理対策として不十分となることから、補修結果を評価し、確認することは有効であると考えられる。

そこで、今回は注入工法によるひび割れ補修において、目視では確認できないコンクリート内部の充填状況を非破壊試験である衝撃弾性波法により確認する方法について、曲げ供試体、および、実物大の供試体により検討したので、その結果について報告する。

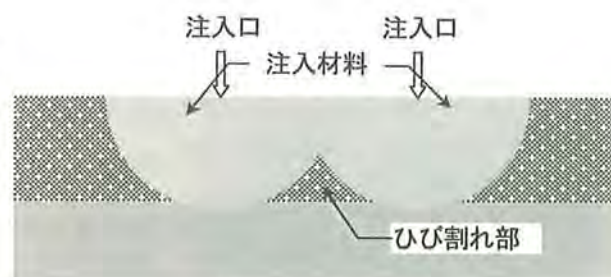


図1 ひび割れ注入工法模式図

2. 実験目的、方法

2. 1 試験対象について

ひび割れの補修工法の1手法である注入工法の模式図を図1、写真1に示す。ひび割れ表面にシール材を塗布し、適当な間隔に設定した注入口から補修材料を充填する工法である。この工法では、注入材料は円状に充填されることから、注入口から離間した位置では、表面のみが充填され内部は未充填となる可能性も考えられる。

本実験ではこの様な、目視では確認できない内部の充填状況の確認を衝撃弾性波法により試験する方法について検討した。

2. 2 測定内容

測定模式図を図2に示す。コンクリート表面に受信センサー（加速度計）を2点設置し、鋼球打撃により表面を伝搬するレイリー波の到達時間差を測定し、速度を測定した。到達時間差は2



写真1 ひび割れ注入工法模式図

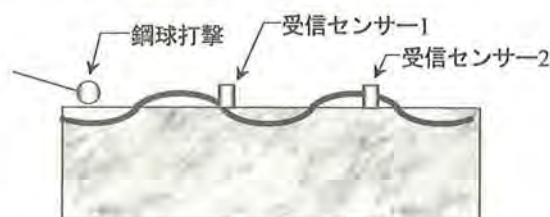


図2 レイリー波速度測定模式図

点の加速度計の測定波形での相互相関関数から求めた。サンプリング間隔は 0.5 マイクロ秒である。曲げ供試体、および、実物大の供試体において、コンクリート内部のひび割れ状況を変化させてレイリー波速度を測定し、内部のひび割れ状況によるレイリー波速度の変化の有無を確認した。

3. 曲げ供試体による実験

3. 1 実験方法



写真2 曲げ供試体実験内容（左：健全状態，中：背面側ひび割れ発生，右：背面側ひび割れ）

曲げ供試体での実験内容を写真2に示す。呼び強度 30、普通ポルトランドセメントによる曲げ強度試験用の供試体 2 体（供試体 A, B, 設計寸法 150mm×150mm×530mm）を用いた。

まず、健全な状態（写真2左）で 2 点の受信センサーを 400mm 間隔に設定し、鋼球打撃により発生するレイリー波の速度を測定した。次に、中央載荷により背面側にひび割れを発生させ（写真2中）、表面は健全であるが、コンクリート内部にひび割れが存在する状態（写真2右）で、2 点の受信センサーを 400mm 間隔にひび割れ部を挟んで設定し、レイリー波速度を測定した。この状態でのコンクリート表面からひび割れ部までの深さは供試体 A, B とも約 40mm であった。

測定に用いた鋼球の直径は 3mm, 6mm, 10mm, 15mm, 20mm である。各鋼球で 3 回ずつ測定し、測定結果を平均処理し、測定値とした。

3. 2 測定結果

表1 曲げ供試体レイリー波速度測定結果

供試体	測定状況	鋼球3mm	鋼球6mm	鋼球10mm	鋼球15mm	鋼球20mm
A	①ひび割れ発生前	2198	2204	2073	2051	2041
	②ひび割れ発生後	2128	2145	1961	1980	1860
	比率 (②/①)	0.968	0.973	0.946	0.965	0.912
B	①ひび割れ発生前	2192	2180	2015	1985	1951
	②ひび割れ発生後	2168	2128	1923	1975	1918
	比率 (②/①)	0.989	0.976	0.954	0.995	0.983

曲げ供試体での測定結果を表1、図3に示す。供試体 A, B ともに同様の結果となり、背面側にひび割れが発生すると、どの鋼球でも測定される速度が遅くなることが確認された。また、測定結果を鋼球の直径で比較すると、鋼球 3mm と 6mm では同等の結果であるが、その他の鋼球では、鋼球直径が大きくなるのに従い、測定される速度が遅くなる傾向が確認された。

測定結果より、コンクリート表面が健全であっても、内部にひび割れが存在する場合には、測定上の速度が遅くなることが確認された。

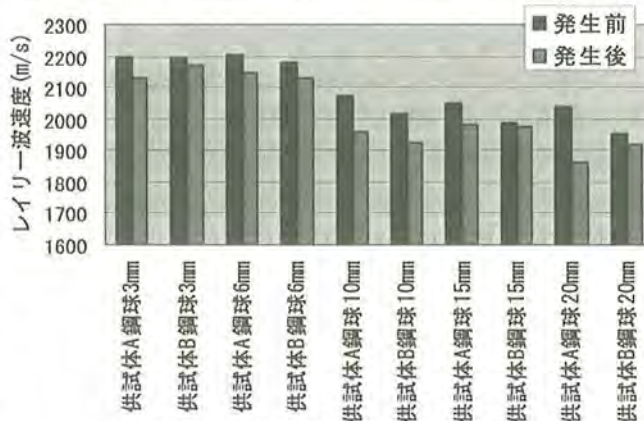


図3 曲げ供試体速度測定結果

これらの原因としては、レイリー波は上下動と水平動から生成されるが、内部にひび割れが存在することにより、上下動に影響を及ぼし、伝搬速度が低下した可能性が考えられる。

4. 実物大供試体での実験

4. 1 実験方法

供試体のひび割れ状況を写真3に示す。ボックスカルバート状の供試体で、幅 4100mm×高さ 1950mm×厚さ 600mm の壁部に自然発生したひび割れを実験対象とした。ひび割れは壁の下端から上端まで発生し、表面での幅は最大で0.25mmであった。

このひび割れに対して、補修の実施前（ひび割れがある状態）と補修の実施後にレイリー波速度を測定した。「3章」に示した実験結果より、コンクリート表面が健全であっても内部にひび割れが存在すれば、レイリー波速度の測定結果が低下することが確認されている。つまり、補修実施後であっても内部のひび割れが充填されていないければ、レイリー波速度の測定結果は補修実施前と比較して、速く変化することはないものと考えられる。

これから、補修前後での測定結果の比較、および、健全部での測定結果と補修実施後の測定結果との比較を行い、これらの比較結果とコアを採取して目視で確認した内部のひび割れの充填状況から、実構造物での本法によるひび割れ補修結果の確認方法の可能性について検討した。

測定点は注入位置、注入位置から上側に 55mm, 150mm, 285mm, 335mm, 注入位置から下側に 50mm, 100mm, 158mm, 255mm, 以上の 9 点である。コンクリート表面に受信センサーを 200mm 間隔でひび割れ部を挟んで 2 点設置した（写真4）。

コア採取は 3 本として、衝撃弾性波法による全 9 測点中 6 測点を目視で確認した。

なお、ひび割れの補修方法は注入工法とし、図4に示すとおり、1 箇所のみからの注入とした。注入口から離間した位置では、表面のみが充填され内部は未充填となる。

4. 3. 測定結果

測定波形の例を図5に、相互相関関数の測定によるレイリー波速度の測定例を図6に示す。相互相関関数で相関係数が卓越する時間差をレイリー波の到達時間差として速度を決定した。図6では測定位置：注入位置、測定位置：注入位置から下側に 158mm とも補修前の速度は 1200m/s 程度であるが、補修後の速度は注入位置では 1878m/s、注入位置から下側に 158mm では 1476m/s と測定位置によって異なることが分かる。

レイリー波速度の測定結果について、補修前後での測定結果の比較、および、健全部での測定結果と補修実施後の測定結果の比較、これらとコアを採取して目視で確認したひび割れの充填状況との比較を表2、図7に示す。以下の傾向が確認された。



写真3 供試体ひび割れ状況



図4 ひび割れ注入状況

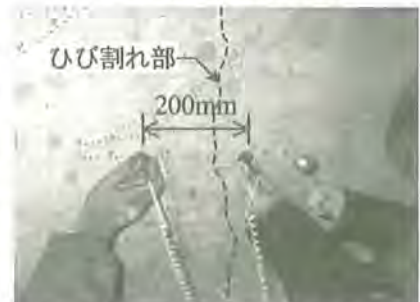


写真4 レイリー波速度測定状況

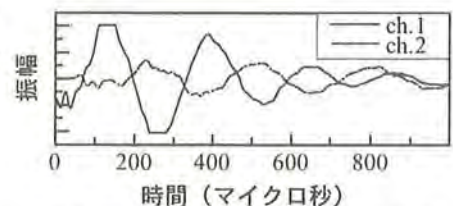


図5 測定波形例 (注入位置, 補修前)

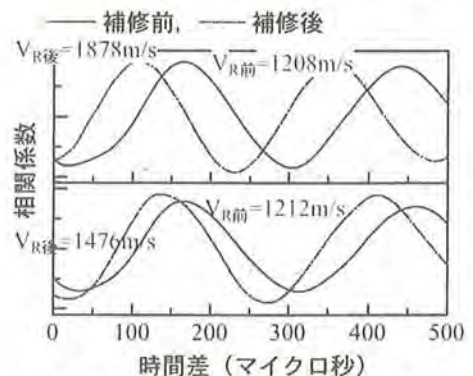


図6 鋼球30mmでの相互相関関数測定例 (上図：注入位置, 下図：下側158mm)

表2 レイリー波速度測定結果とコア採取結果の比較

測定項目		コア採取結果	レイリー波速度測定結果							
厚壁 測定位置			(補修後速度)/ (補修前速度)				(補修後速度)/ (健全部速度)			
方向	距離 (mm)		鋼球 5mm	鋼球 10mm	鋼球 20mm	鋼球 30mm	鋼球 5mm	鋼球 10mm	鋼球 20mm	鋼球 30mm
上側	335	—	1.07	1.06	1.04	1.07	1.06	0.94	0.83	0.84
	285	未充填	1.07	0.94	1.08	0.95	1.05	0.84	0.87	0.75
	150	充填, 内部ジヤンカ	1.06	1.18	1.37	1.28	1.05	1.07	1.00	0.92
	55	—	1.13	1.18	1.42	1.34	1.01	1.03	1.07	1.03
注入位置	0	完全充填	1.14	1.22	1.28	1.55	1.12	1.15	1.14	1.16
下側	50	完全充填	1.12	1.20	1.19	1.37	1.08	1.10	1.00	0.95
	100	完全充填	1.12	1.16	1.42	1.53	1.08	1.07	1.00	0.96
	158	内部未充填	1.17	1.27	1.20	1.22	1.10	1.09	1.02	0.91
	255	—	0.91	0.86	1.11	1.14	0.89	0.87	0.75	0.82

鋼球直径：●5mm, ▲10mm, ■20mm, ▼30mm

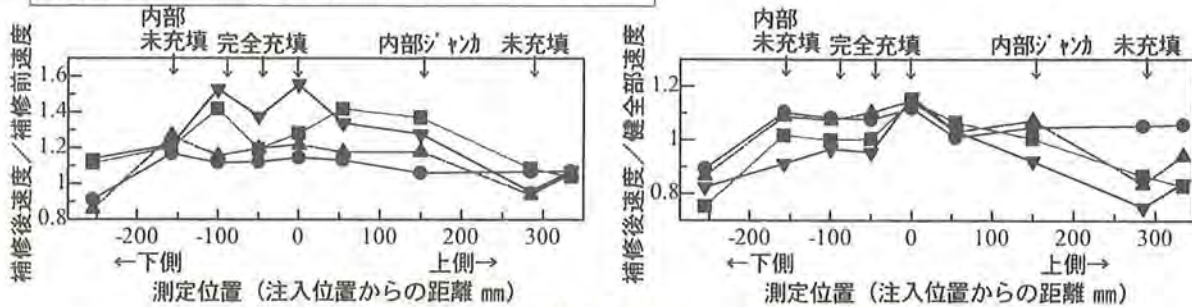


図7 レイリー波速度測定結果とコア採取結果の比較

①鋼球 5mm では、表面、内部とも充填されていない未充填の位置（上側 335mm）であっても、補修後のレイリー波速度と健全部のレイリー波速度との比率は 1.06 と同等となるなど、充填状況による測定結果の変化は確認されなかった。②鋼球 10mm、鋼球 20mm では表面が充填され内部が充填されていない内部未充填の位置（上側 150mm、下側 158mm）であっても、レイリー波速度の補修前後での比率（補修後/補修前）、健全部との比率（補修後/健全部）は、完全に充填された位置と同様であり、内部の未充填による影響は確認されなかった。③鋼球 30mm では、補修前後の比率は、未充填の位置では 0.95、内部未充填の位置では 1.25 程度、完全に充填された位置では 1.37 以上となり、充填の程度に比例してレイリー波速度は補修前よりも速くなることが確認された。また、健全部との比率は、未充填の位置では 0.75、内部未充填の 0.92 程度、完全に充填された位置では 0.95 以上となり、充填の程度に比例してレイリー波速度は健全部と同等になることが確認された。

以上の結果から、厚さ 600mm の壁部に発生したひび割れでは、注入工法によるコンクリート内部を含めた充填結果は鋼球 30mm で入力したレイリー波速度を補修の前後に測定し変化を確認すること、または、補修後に測定したレイリー波速度と健全部での測定結果とを比較すること、これらにより確認できる可能性が示された。その他の鋼球の測定結果については、試験対象とする深さに対して入力波長が短く、レイリー波の上下動の範囲が試験対象の深さまで及ばなかった可能性が考えられる。

4. まとめ

注入工法によるひび割れ補修において、目視では確認できないコンクリート内部の充填状況を衝撃弾性波法により確認する方法について実験した。曲げ供試体による実験では、コンクリート表面が健全であっても内部にひび割れが存在することにより、レイリー波速度の測定結果が低下することが確認された。また、壁厚 600mm の実物大供試体では、直径 30mm の鋼球により測定したレイリー波の速度は、内部の未充填箇所の有無など充填状況によって異なる結果となることが確認された。以上から、補修の前後および健全部でのレイリー波速度の測定結果の比較により、内部を含めた充填状況を確認できるものと期待される。今後は、対象とするひび割れの深さと適用できる鋼球直径との関係や、未充填箇所までの深さとレイリー波速度との関係などについて実験する。