

多点同時測定によるコンクリート構造物の剥離探査

オリジナル設計株式会社 正会員 ○島田浩司
オリジナル設計株式会社 非会員 石垣享一, 高橋賢治
一般社団法人 iTECS 技術協会 正会員 極壇邦夫

1. 背景と目的

コンクリート構造物が劣化し、一部に剥離・剥落が生じると大事故につながる危険性がある。そのためコンクリート構造物の剥離を即座に把握する方法の確立が重要となってくる。本報は、内部に発泡スチロールを埋設し疑似剥離（以下、剥離）を設けたコンクリート構造物（以下、供試体）を用い、健全部と剥離部の振動波形、振幅、表面 P 波速度、レイリー波速度の差異を、衝撃弾性波法を用いて調査した。

2. 試験方法

供試体は、スラブを鉛直に立てて施工した一般的なスラブ配筋の鉄筋コンクリート（2,000mm×2,500mm×400mm）に、発泡（500mm×500mm×50mm、かぶり厚さ 200mm）を埋設し疑似剥離を設けたものである。今回実施した剥離探査試験はⅠ：透過弾性波速度による探査、Ⅱ：インパクトハンマーと 3 点センサーによる探査の 2 通りを実施した。

試験Ⅰ：測定装置は iTECS-6 を使用した。弾性波の入力は、直径 16mm のインパクトハンマーで供試体表面を打撃（10cm メッシュで水平方向 15 点、鉛直方向 14 点：図-1 参照）し、受信センサーは打撃の反対面の真裏位置に設置した。透過弾性波速度は、打点とセンサー間の距離（供試体厚さ 400mm）を、供試体内部を透過した弾性波の伝搬時間差 t を除して求めた（式 1）。

$$V = \frac{L}{t} \quad \dots \text{式 1}$$

ここで、 V ：透過弾性波速度（m/s）、 L ：打点からセンサー間距離（m）、 t ：伝搬時間差（s）

試験Ⅱ：弾性波の入力は、直径 16mm のインパクトハンマーで供試体表面を打撃（打点とセンサー設置位置は図-1 参照）した。センサーは加速度センサー（PCB352C66）を使用し、入力信号を 3chPCB アンプで増幅し、USB オシロ picoscope4424 を介してノートパソコンに取り込んだ。すなわち、試験Ⅱでは健全部と剥離部にセンサーを取付け、両者の振動波形の類似度合い、表面 P 波速度、レイリー波速度、振動波形の振幅の差異を同時比較した。振幅の差異は、インパクトハンマーによる打撃力を標準化するために、インパクトハンマー入力振幅値を 1.0 とし、センサー入力振幅値との比により求めた。また、表面 P 波の伝搬時間差はインパクトハンマー波形のピークとセンサーのレイリー波のピーク間の時間差より求めた¹⁾。なお、試験Ⅱの打点からセンサー間距離はセンサー A, C は 180mm、B は 150mm である。

3. 試験結果

試験Ⅰ：透過弾性波速度による剥離探査

透過弾性波速度の分布を図-2 に示す（平均値：4,140m/s（標準偏差 291m/s））。透過弾性波速度平均値－標準偏差よりも小さい値（3,849m/s）を着色すると剥離部（中央枠内）とほぼ一致する。つまり、剥離部は透過弾性波速度キーワード 剥離探査、衝撃弾性波法、多点同時測定、表面 P 波、レイリー波

連絡先 〒151-00624 東京都渋谷区元代々木町 30-13（グラスシティ元代々木） TEL 03-6757-8804

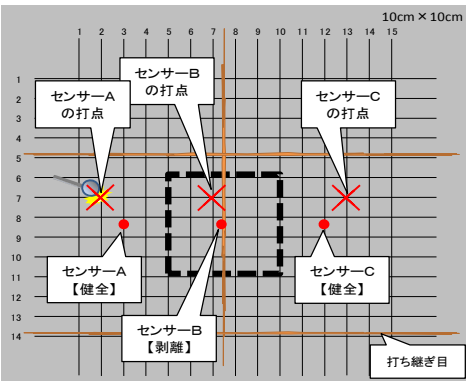


図-1 打点とセンサー設置位置
(枠内：剥離部の位置)

単位: m/s

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	4124	4233	4306	4180	4386	4430	4320	4175	4306	4306	4292	3945	4124	4237	4145
2	4115	4233	4278	4415	4175	4188	4292	4145	4278	4115	4145	4306	4306	4115	4082
3	4158	4202	4338	4188	4440	4269	4301	4278	4077	4154	4115	4283	4167	4103	4260
4	4278	4115	4145	4111	4197	4145	4292	4158	4329	4158	4154	4158	4197	3500	4111
5	4090	4353	4158	4237	4292	4260	4260	4175	4338	4329	4386	4158	4132	2780	4283
6	4061	4069	4269	4132	4425	3806	4283	4115	4175	4260	4115	4449	4306	4197	3749
7	4260	3876	4132	4090	4103	3376	3552	3646	3506	4336	4158	4115	4154	4090	3857
8	4154	4269	4115	4154	4115	3350	3075	2990	3376	4197	4175	4132	4320	4353	4306
9	4260	4158	4132	4119	4175	3378	3929	2956	3356	4400	4132	4237	4306	4175	4278
10	4111	4582	4103	4215	4111	3361	3239	3185	3361	4145	4292	4342	4090	4464	4233
11	4292	4260	3842	4145	4260	4111	4145	4057	4132	3521	4154	4367	4278	4132	4233
12	4111	4115	4115	4103	4103	4353	4292	4338	4306	4154	4090	4278	4306	4278	4145
13	4115	4215	4386	4233	4430	4367	4376	4306	4233	4292	4246	4551	4464	4415	4278
14	4260	4320	4338	4237	4320	4353	4415	4415	4175	4353	4400	4115	4320	4175	4400

図-2 透過弾性波速度分布図

が遅くなっている。この原因は、供試体内部に埋設された発泡を回折するため、伝搬距離が長くなり伝搬時間差も長くなったこと、また、空隙によって弾性係数が低下したためであると考えられる。したがって、コンクリート構造物の透過弾性波速度を求めることで剥離範囲の確認が可能である。しかし、透過弾性波速度による剥離探査法は、水槽などのように打点の反対面にセンサーが取り付けられない構造物の場合では実施できない。

試験Ⅱ：インパクトハンマーと3点センサーによる剥離探査

健全部（センサーA, C）と剥離部（センサーB）の入力波形を図-3, 4に示す。まず、表面P波の伝搬時間差（図中 t_{VP} ）を見ると健全部と剥離部はほぼ同等に見えるが、レイリー波の伝搬時間差（図中 t_{VR} ）を見ると剥離部の方が健全部よりも明らかに長くなっている。また、インパクトハンマーとセンサーの振幅に着目すると、剥離部はセンサーの振幅の方がより大きくなっていることがわかる。そこで、表面P波速度（図-5）、レイリー波速度（図-6）、インパクトハンマーの振幅を1とした場合のハンマーとセンサー波形の振幅比（図-7）を確認した。

図-5を見ると、健全部と剥離部の表面P波速度はほぼ同等であった。一方、図-6を見ると、剥離部のレイリー波速度は健全部のレイリー波速度よりも13~20%遅くなり、健全部と剥離部で差異が生じた。

表面P波は打撃面を同心円状に伝わる波であり、かぶり厚さが200mmもあると内部空隙の影響を受けずに供試体表面を伝搬する。打点とセンサー間距離が同一ならば表面P波の到達時間が一致するため、表面P波速度はほぼ同等となったと考えられる。レイリー波はハンマー質量によって伝搬深さが変わると言われている波であり、供試体内部に埋設された発泡の影響で弾性係数が低下すること、発砲部は振幅が大きくなり（後述）、振幅が大きくなると速度が低下する傾向があることなどから見かけのレイリー波速度が低下したのと考えられる。

図-7を見ると、インパクトハンマーとセンサー入力波形の振幅比は健全部では0.9~1.0であったが、剥離部は1.2と健全部より高い値を示した。剥離部は健全部と比較して薄いため曲げ剛性が小さくなり過大な曲げ振動が生じ、ハンマー打撃力が一定でも大きな振幅が発生していると考えられる。

以上より、剥離部は健全部と比較してレイリー波速度は低下し、振動波形の振幅は大きくなることが確認された。

4. まとめ

コンクリート構造物の剥離を即座に把握する方法として、打点と打点の反対面の真裏位置にセンサーが取り付けられる場合では透過弾性波速度によって剥離範囲の確認が可能である。一方、打点の反対面にセンサーが取付けられない場合は、打点と同一面にセンサーを多数設置し、波形の傾向、レイリー波速度、インパクトハンマーとセンサー入力波形の振幅比を求めることで、剥離探査が可能になるものと考えられる。

【参考文献】 Mary J. Sansalon, William B. Street: *IMPACT-ECHO : Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry*, Bullbrier Press, 1997

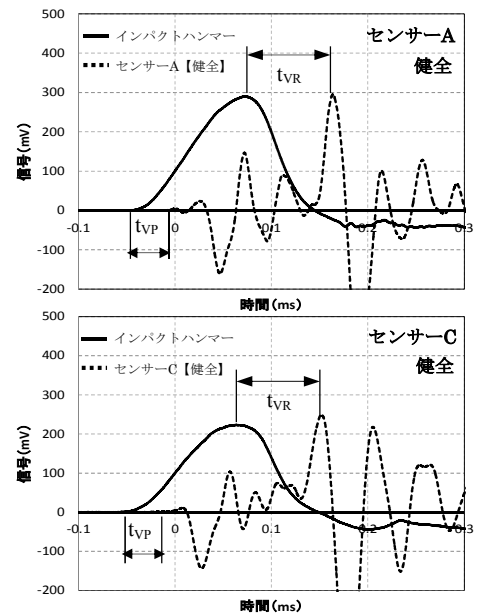


図-3 健全部のセンサー波形

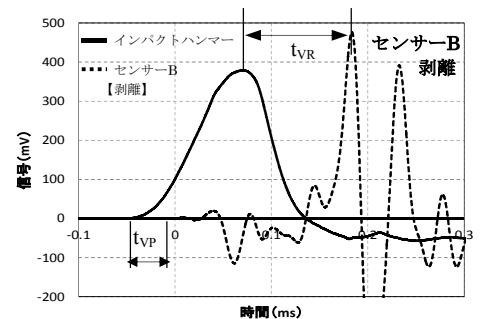


図-4 剥離部のセンサー波形

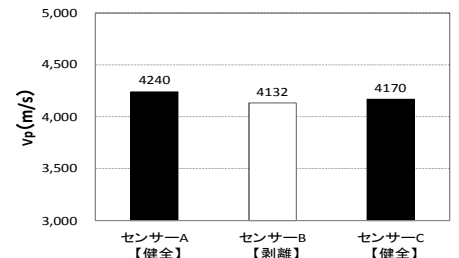


図-5 表面P波速度

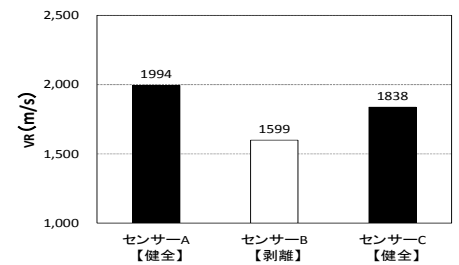


図-6 レイリー波速度

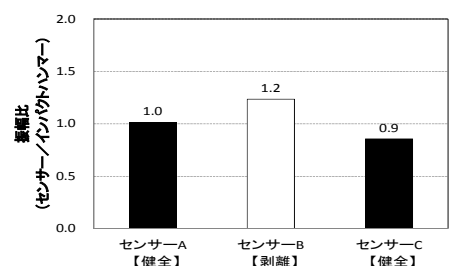


図-7 振動波形の振幅比