

達する弾性波を測定すると，引張波は下に凸形状（図 1 左図），圧縮波は上に凸形状（図 1 右図）と測定波形は変化する。

位相反転法では，ひび割れを挟んでセンサー設置点（受信点）と打撃点を設定し，受信点と打撃点の距離を変化させることにより，角度 θ を変化させて最も速く到達する弾性波を測定し， $\theta = 90^\circ$ となる位置を決定してひび割れ深さを幾何学的に推定する。

(2) 伝搬時間差法

伝搬時間差法ではひび割れを中点として，受信点と打撃点を一直線上に設定し，弾性波の伝搬時間 T_p を測定する。この時，弾性波はひび割れ先端を回折して，表面に到達することから，受信点と打撃点の距離 L ，弾性波速度 V_p とひび割れ深さ D は式(1)に示す関係となる。これから，伝搬時間 T_p を測定すれば，ひび割れ深さの推定が理論上可能となる。

$$D = \frac{\sqrt{V_p^2 \times T_p^2 - L^2}}{2} \quad (1)$$

2. 2 測定結果

(1) 位相反転法

測定状況を写真 1 に示す。受信点と打撃点の距離 L を徐々に変化させ，センサーの受信波形を測定した。なお，ひび割れ開口部より受信点側（左側）には，120mm の位置に目地が存在することから，距離 L は 40mm～240mm とした。

測定結果を図 2 に示す。距離 40mm～240mm での第 1 波は全て下に凸形状となった。これから，距離 40mm～240mm の範囲では，弾性波がひび割れ先端を回折するときの角度は 90° 以下であると判断され，この結果ではひび割れ深さの推定はできない。

次に，受信点をひび割れ開口部の左側 120mm に固定し，打撃点をひび割れ開口部から右側に 140mm～380mm ($L=260\text{mm} \sim 500\text{mm}$) と変化させて測定した。主な測定結果を図 3 に示す。

図 3 より，距離 410mm 以下では測定波形の第 1 波は全て下に凸形状であるのに対し，距離 420mm 以上では測定波形の第 1 波は全て上に凸形状となった。これより，距離 420mm の時に弾性波がひび割れ先端を回折するときの角度が 90° であると判断される。距離 420mm で弾性波の伝搬状況は図 4 に示す状況であると判断されることから，ひび割れ深さ D は式(2)に示す関係が成立する。これから，ひび割れ深さは 190mm と推定される。

$$D : 120 = 300 : D \quad (2)$$

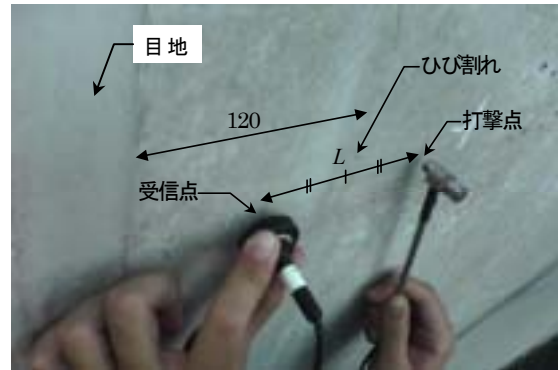


写真 1 ひび割れ深さ測定状況

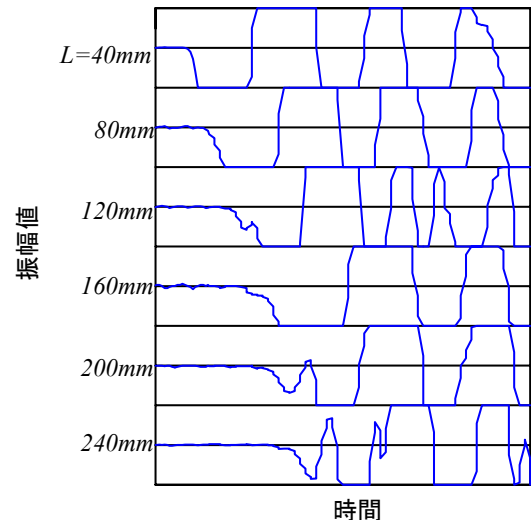


図 2 各受信点と打撃点の距離での測定波形 (距離 L : 40mm～240mm)

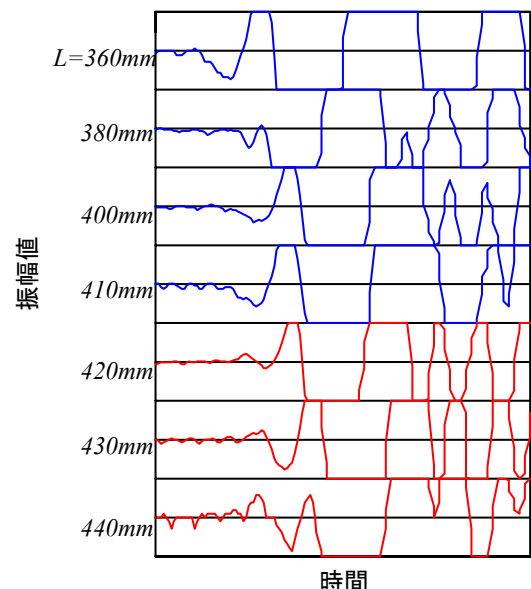


図 3 各受信点と打撃点の距離での測定波形 (L : 260mm 以上)

距離 420mm で弾性波の伝搬状況は図 4 に示す状況であると判断されること

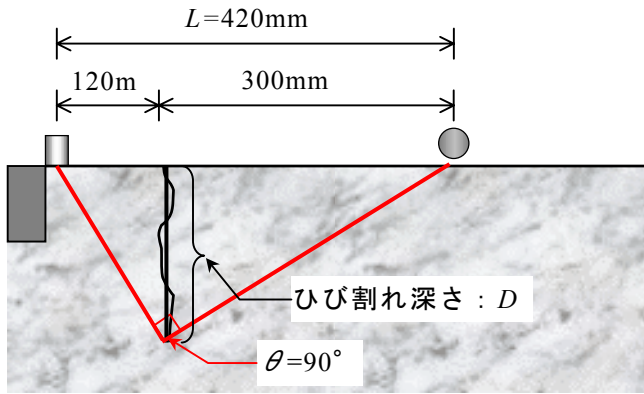


図4 距離420mmでの弾性波伝搬状況模式図

(2) 伝搬時間差法

受信点と打撃点の距離 L を 20mm~240mm とし、弾性波の伝搬時間差 T_p を測定し、ひび割れ深さ D を推定した。各距離での推定結果を表1に示す。なお、弾性波速度は別途近傍で測定した結果より 3841m/s とした。

表1より、推定結果は 45mm~144mm となり、距離によって大きく異なり、また、位相反転法での推定結果と比較しても大きく異なる結果となった。そこで、伝搬時間差法での推定結果を検証するため、受信点と打撃点の距離 L と測定した時間差 T_p の関係を調べた。その結果を図5に示す。

式(1)を変形すれば、式(3)に示すとおり、 L との2乗と T_p の2乗は理論上直線比例関係であり、傾きから弾性波速度 V_p 、切片からひび割れ深さ D を計算することが可能となる。図5より、両者の2乗の相関係数は 0.935 となるが誤差の大きい結果が存在し、また、回帰直線の傾きによる弾性波速度は 2426m/s と近傍での測定結果とは大きく異なる。

伝搬時間差法での推定結果と検証結果から判断すると、何らかの測定誤差により、理論上示される弾性波の伝搬時間差が正確に測定されていないものと考えられる。

$$L^2 = V_p^2 \times T_p^2 - 4D^2 \quad (3)$$

3. コールドジョイント部での測定

3.1 測定概要

写真2に示すコールドジョイントで弾性波速度、インパクト（打撃物）の接触時間を測定した。測定位置は A 点、B 点の2箇所であり、コールドジョイント近傍と下方方向に 500mm 離れた箇所について測定した。

3.2 測定結果

(1) 弾性波速度の測定結果

コールドジョイント近傍では、ジョイント部の上側をインパクトで打撃し、下側に設置し

表1 伝搬時間差法推定結果

L (mm)	T_p (μ S)	D (mm)
20	24.0	45
40	27.0	48
60	29.0	47
80	37.0	59
100	52.0	86
120	50.0	75
140	72.0	119
160	86.0	144
180	77.0	117
200	83.0	124
220	92.0	138
240	89.0	122

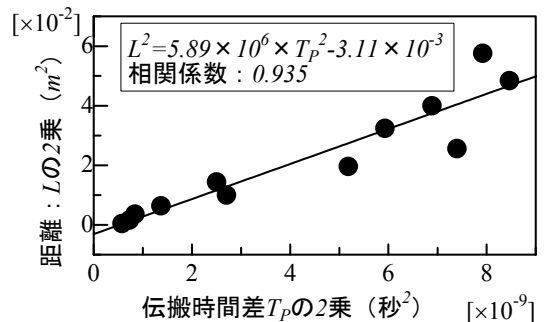


図5 ひび割れ深さ測定での距離と伝搬時間差

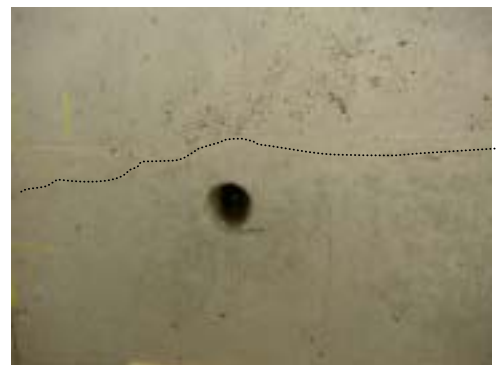


写真2 コールドジョイント状況

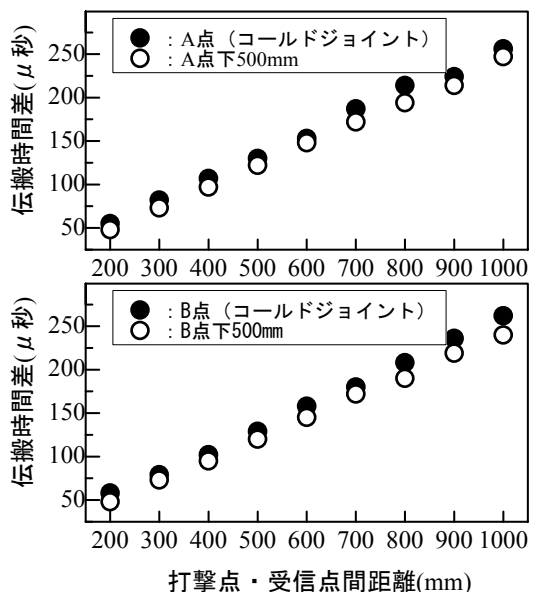


図6 コールドジョイント部付近での伝搬時間差測定結果

表2 弾性波速度の測定結果

測定位置 L (mm)	A点		A点下500mm		B点		B点下500mm	
	T_p (μ S)	V_p (m/s)	T_p (μ S)	V_p (m/s)	T_p (μ S)	V_p (m/s)	T_p (μ S)	V_p (m/s)
200	55	3636	48	4167	58	3448	48	4167
300	82	3659	73	4110	79	3797	73	4110
400	107	3738	97	4124	102	3922	95	4211
500	130	3846	122	4098	129	3876	120	4167
600	153	3922	148	4054	158	3797	145	4138
700	187	3743	172	4070	180	3889	172	4070
800	214	3738	194	4124	208	3846	190	4211
900	224	4018	214	4206	236	3814	219	4110
1000	256	3906	247	4049	262	3817	240	4167
平均値(m/s)	—	3801	—	4111	—	3801	—	4150

た受信点へ伝搬する弾性波の到達時間から、弾性波速度を求めた。各打撃点・受信点間距離での測定結果を図6、表2に示す。コールドジョイント近傍と下方向に500mmでの測定結果を比較すると、コールドジョイントが弾性波の伝搬に影響し、測定上の弾性波速度が低下することが確認できる。換言すれば、打継ぎ目を挟んで打撃点・受信点を設定して弾性波速度を測定すれば、打継ぎ目の良否の判断が可能になるものと期待される。

(2) 接触時間の測定結果

インパクターの接触時間は、コールドジョイント近傍では弾性波速度測定におけるジョイント部の上側でのインパクターの打撃により測定した。測定結果を表3に示す。

コールドジョイント近傍と下方向に500mmでの測定結果を比較すると、両者に大きな相違は確認されなかった。接触時間はコンクリート表面付近の弾性率によって変化し、表面が脆弱であれば接触時間は長くなるが²⁾、今回の測定結果では、コールドジョイントによる表面付近の品質低下は確認されない結果といえる。コールドジョイント近傍においても、ジョイント部の上側約50mm以上の9点で測定したことなどから、両測定結果に差が生じなかったものと考えられる。

表3 コールドジョイント部付近での接触時間測定結果

回数 測定面	回数									平均値
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A点	167.2	132.1	138.8	136.5	148.9	160.6	157.5	134.3	190.5	154.6
A点下500mm	138.8	141.2	138.8	141.2	157.5	154.6	138.8	151.7	157.5	146.3
B点	138.8	141.2	143.7	136.5	143.7	138.8	134.3	138.8	154.6	141.2
B点下500mm	148.9	141.2	141.2	141.2	146.3	151.7	134.3	134.3	126.0	141.2

4. まとめ

新設の橋梁で発生したひび割れ、コールドジョイントに対し、衝撃弾性波法を適用し、これらの変状の評価方法について検討した結果を以下に示す。①ひび割れ深さを位相反転法、伝搬時間差法により測定した。その結果、位相反転法は測定結果の判定、取り扱いが容易な測定方法であると考えられる。一方、伝搬時間差法については、今回は測定結果にバラツキが確認され、ひび割れ先端を回折する弾性波の伝搬時間を正確に測定できていない結果であった。②コールドジョイント部を挟んで打撃点・受信点を設定し、弾性波速度を測定した。その結果、コールドジョイントが弾性波の伝搬に影響し、測定上の弾性波速度が低下することが確認された。本法により、打継ぎ目の良否の判断が可能になるものと期待される。③コールドジョイント部の上側約50mm以上の9点と、下方向の500mmでインパクターの接触時間を測定した。今回は、上側に約50mm以上の点で測定したことなどから、表面付近の品質低下は確認されない結果であった。

参考文献：1)岩野聡史他：衝撃弾性波法を適用した新設コンクリート構造物での圧縮強度推定および内部欠陥探査に関する検討、日本非破壊検査協会 コンクリート構造物の非破壊検査への展開 論文集(Vol.2), pp.475-482, 2006.8
2)岩野聡史,森濱和正, 極壇邦夫,境友昭：鋼球接触時間の測定によるコンクリート表層部の品質評価,コンクリート工学協会 年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1687-1692, 2005.7