

表層が硬い実橋梁桁の弾性波速度と反発度法による推定強度の比較

株式会社コサカ技研 正会員 鈴木 拓也
株式会社コサカ技研 正会員 齋籐 修次
八戸工業大学 正会員 長谷川 明

1. まえがき

56年経過したRC橋梁の強度をリバウンドハンマー(反発度法)と衝撃弾性波法で推定し比較した。反発度による推定強度は 40N/mm^2 、衝撃弾性波法の多重反射波速度からの推定圧縮強度は約 12N/mm^2 となり大きな差異が生じた。円柱コアによる圧縮強度は 10.2N/mm^2 であった。表面での反発度と内部全体の弾性波速度で、これほど大きな差異が生じることは珍しい。本調査にて、(1)多重反射波速度、(2)透過弾性波速度、(3)円柱コアの深さごとの断面透過速度および(4)反発度法をそれぞれ比較検討したので報告する。

2. 衝撃弾性波法について

物質を伝搬する弾性波(V_p)は、入力波長よりも部材が数倍大きいとポアソン比を考慮し、部材が小さいとポアソン比は無視するのが普通である。入力波長が40cm程度のハンマーで直径10cm長さ20cmの円柱を叩いた場合、ポアソン比はゼロと考えると(1)式により求められ、 E は弾性係数、 ρ は密度である。また、弾性係数 E は応力 σ とひずみ ε の関係から(2)式により得られることから、(1)式へ代入すると(3)式が得られ、応力は、弾性波速度、密度、ひずみから推定できることが分かる。弾性波速度は一般的にコンクリートの空隙が多くなると遅くなり弾性係数は小さくなる。また、弾性波速度の特性として、透過弾性波が最も速く、表面弾性波と多重反射波は数%の違いでほぼ同等であることから、新設構造物では表面弾性波を測定し構造物の強度を管理する方法も実施されている。この方法は内部のコンクリートの状態が均質である場合には有効であるが、老朽化した構造物や施工当時の時代背景や経年劣化などを考えると、内部の状態は不均質である可能性も高い。しかし、現状では老朽構造物においても、構造物表面の情報を用いて全体の強度とする場合も多く、本来の強度を知るには内部の情報をより多く得られるような評価方法が非常に重要であると考えられる。本調査で用いた衝撃弾性波法の多重反射波は、コンクリート内部を数十回往復するものであり、その速度を求めることは表面だけでなく全断面を評価することにつながることから、桁の曲げ剛性 EI を評価する観点からみても有意な推定方法であると考えられる。

$$V_p = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \dots (1) \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots (2) \quad \sigma = V_p^2 \rho \varepsilon \dots (3)$$

3. 測定概要

測定した主桁寸法は高さ95cm×厚さ45cmのT桁である。側面に100mm×100mmのメッシュシールを貼り付け、測定装置はiTECS6を使用し、長さ5900mm区間を測定した。多重反射波速度は厚さ測定から算出する。センサーとハンマー間隔は100mm、直径30mm鋼球、センサーはPCB350C66を使用した。厚さ測定は、打撃面と反射面を多重反射する波の周波数(f)を求め、厚さ $D=V_p/(2*f)$ により厚さを測定するものであるが、今回は桁の厚さが既知であるため、構造物の弾性波速度 V_p を逆算で求めることが可能である。そこで、採取したコアの多重反射速度 $V_p=3,134\text{m/s}$ で厚さMEM解析を行い、その結果を用いて主桁の設計厚さ450mmになる弾性波速度を設計厚さ(450mm) / 計測厚さ(D)×3,134m/sにより逆算した。ここで得られる逆算多重反射波速度を実構造物の多重反射波速度(V_p)とする。

透過弾性波速度は桁を挟んで測定する。打撃面から桁の内部を1回通過して反対面にたどり着くまでの時間差を測定し、透過距離を桁の厚さ450mmとして、時間差で除すことで算出したものが透過弾性波速度(T_{Vp})である。

キーワード 非破壊検査, 衝撃弾性波法, 老朽構造物, 強度推定

連絡先 〒039-1103 青森県八戸市大字長苗代字上碓田56番地2 (株)コサカ技研 TEL: 0178-27-3444

4. 弾性波速度の測定結果と推定強度

G2, G3 主桁それぞれで測定した多重反射波速度および透過弾性波速度を主桁の測定ライン毎にまとめたものを表-1 に示す。表中の L1 は床版下面と主桁の境界部より 100mm 下がった位置で,そこから桁下面方向に 100mm ピッチで L8 まで測定し,表中の速度はラインの平均速度を示している。桁下面は空気に接するため, L7, L8 は拘束条件の違いからポアソン比の影響による速度の違いを考慮する必要はあるが,桁上面から下面に向かって速度が低下傾向であることがわかる。多重と透過を比較すると,全体平均値で G2 主桁は透過が多重よりも 13%増加しているが, G3 主桁ではどちらも同等の値であった。また,ライン毎に変動係数を計算したが多重の方が透過に比べて大きく,橋軸方向で速度がバラついていることを示している。透過は内部を一度通過した波,多重波は数十回往復する波という特性から,多重波の方がより多く内部の状態を測定値に反映させていることを考えると,本橋の桁は橋軸方向において強度分布が一定ではないことが推定できる。

ここで, G2 主桁で採取したコアの多重反射波速度を測定し, 圧縮強度試験値との関係から図-1 に示すような回帰式を作成し,表-1 に示した主桁の多重反射波速度平均値を代入して, 圧縮強度を推定した結果を表-2 に示す。多重反射速度による推定強度は G2 主桁で 9.1N/mm^2 , G3 主桁で 8.0N/mm^2 であり, コアの圧縮強度試験値の 10.2N/mm^2 に近い値を示した。一方, 反発度法では G2 主桁で 47.4N/mm^2 と主桁の強度を過剰評価していることがわかる。反発度法では桁表面の状態に測定結果が大きく左右されるために, 多重波との差異が生じ, 主桁内部の強度は一定でなく, 桁表面が固く内部は脆弱であるという状態を推測できる。

5. 円柱コアの深さごとの断面透過速度測定

桁内部の弾性波速度分布を把握する目的で,採取したコア(MB コアと称す)で深さごとに断面透過速度を測定した。表面から 10mm 間隔にセンサーとハンマーで円柱を挟んで測定した結果を図-2 に示す。MB コアの透過速度分布は,表面から 40mm 程度まで $3,500\text{m/s}$ 程度であるが,そこから内部に向かって急激に速度低下している。その後の変動は,多孔質な骨材による影響と思われるが,標準コアと比較して深さ方向で速度の変動が著しく,本橋梁の桁内部の状態は均一でないことが確認できた。

6. まとめ

老朽橋梁の主桁において, 衝撃弾性波法による多重弾性波, 透過弾性波を測定し, 反発度法による圧縮強度の推定結果と比較した結果, 以下のような知見を得た。

- 1) 本橋のように桁表面が硬く, 内部が均一でない主桁で強度推定を行う場合, 反発度法よりも衝撃弾性波法による多重反射波速度を用いた方がコアの圧縮強度試験値に近い値を示す。
- 2) 多重弾性波速度を測定することで, 水平方向, 鉛直方向に速度のバラつきが大きく見られ, 桁の面的な強度分布を把握することが可能であり内部欠陥探査にも有効である。

以上から, 老朽構造物に対して衝撃弾性波法による評価方法は有効であることが示され, 今後の展開が期待される。

[謝辞]

本調査を行うにあたって, 青森県三八地域県民局地域整備部から多大な協力を得た。ここに感謝致します。測定および論文作成では iTECS 技術協会 極檀邦夫先生より貴重なご助言ご指導を頂いたこと, ここに感謝致します。

表-1 弾性波速度一覧表

G2多重			G3多重		
L1-Vp	平均速度(m/s)	変動係数(%)	L1-Vp	平均速度(m/s)	変動係数(%)
L1-Vp	3003	13.5	L1-Vp	2922	8.9
L2-Vp	2907	5.4	L2-Vp	2750	8.2
L3-Vp	2861	7.7	L3-Vp	2803	10.7
L4-Vp	2747	9.0	L4-Vp	2700	6.9
L5-Vp	2781	7.2	L5-Vp	2724	6.3
L6-Vp	2810	13.8	L6-Vp	2633	8.3
L7-Vp	2591	11.0	L7-Vp	2568	10.5
L8-Vp	2388	6.2	L8-Vp	2436	17.6
全体(L7,L8除く)	2852	9.4	全体(L7,L8除く)	2755	8.23

G2透過			G3透過		
L1-Tvp	平均速度(m/s)	変動係数(%)	L1-Tvp	平均速度(m/s)	変動係数(%)
L1-Tvp	3358	7.71	L1-Tvp	2823	6.9
L2-Tvp	3262	4.26	L2-Tvp	2606	5.7
L3-Tvp	3185	4.55	L3-Tvp	2577	6.1
L4-Tvp	3190	5.03	L4-Tvp	2553	6.0
L5-Tvp	3123	4.90	L5-Tvp	2595	6.9
L6-Tvp	3152	4.69	L6-Tvp	2589	6.1
L7-Tvp	3118	4.57	L7-Tvp	2576	4.7
L8-Tvp	2933	6.52	L8-Tvp	2329	7.1
全体(L7,L8除く)	3212	5.2	全体(L7,L8除く)	2620	6.3

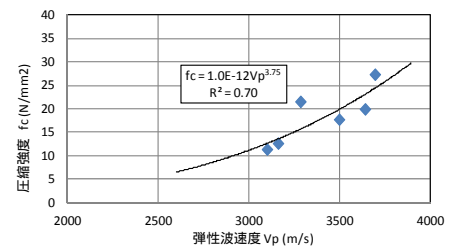


図-1 コアによる Vp-Fc の関係

表-2 推定強度の比較

推定方法	G2主桁 (N/mm ²)	G3主桁 (N/mm ²)
リバウンドハンマー	47.4	39.4
多重反射波速度	9.1	8.0
コアの圧縮強度試験値	10.2	-

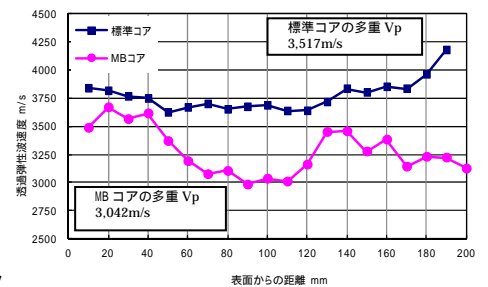


図-2 コアの深さごとの断面透過速度