

報 告

[1119] 波形解析の超音波法によるコンクリートの厚さ測定

正会員○山口哲夫（東横エルメス）

丸茂文夫（東横エルメス）

範 錚亮（東横エルメス）

1. はじめに

コンクリートの非破壊試験として、構造物の片面に、探触子を当て、超音波の反射法で厚さや内部欠陥を測定する必要性が増加している。広い床版の厚さ測定法として開発した、新しい測定法 [1] [2] [3] を適用し、トンネルの覆工厚と柱の内部欠陥を測定した。その結果と問題点を報告する。

2. 測定の手法

この測定法では受信波のなかの、到達時間が長く揃った反射波を、他の震動波と分離し、厚さを求めるために、受信波をフーリエ解析し、反射波の到達時間（周期）の逆数である周波数 f を測定する。まず超音波パルスを繰返し送り、受信波をFFTアナライザでフーリエ解析し、パルスの繰返し周波数を基本周波数とし、フーリエスペクトルの高次項として、厚さの反射波のスペクトルが得られる。受信波のスペクトル群は、低い周波数 f から高い周波数側に多数立上がる（図1）。この周波数 f が厚さのスペクトルである。厚さ200mmのコンクリート供試体で、低い繰返し周波数、例えば500Hzのパルスを送波した場合のスペクトルを図1に示す。約10kHz = f からスペクトルが多数立ち上がっている。厚さを d 、音速を c 、周波数を f とした振動の周知の式 $2d/c = 1/f$ の関係から、おおよその厚さは200mm（音速4km/s 仮定）と求まる。次にパルスの繰返し周波数を増加して、周波数 f に近付け（この時スペクトルは1本になる）、重ね合わせて、1本のスペクトル線の極大値を探し、正確に厚さの反射波の周波数 f を求め、音速を仮定して厚さを読取ることができる。この読取値を、別に求めた実際の音速で校正すれば、厚さの測定値となる。

3. トンネルの覆工厚の測定

A 現場の戦後に出来たダム導水路（3200mmφ）トンネルで、超音波法により、覆工厚の測定を実施した。現場の条件を以下に示せば、次のようである。a) 裏の地山は岩盤。b) 一部は非常に厚いコンクリート。c) コンクリートの裏面の凹凸が大。d) 厚さ断面が一樣でなく、天端で著しい凸のものもある。e) 一部のコンクリートは鉄筋入りである。f) 測定点が非常に多い。g) 施工が複雑。h) 施工の記録はある。i) 削孔長のデータはある。なお、測定法の検証も目的とし

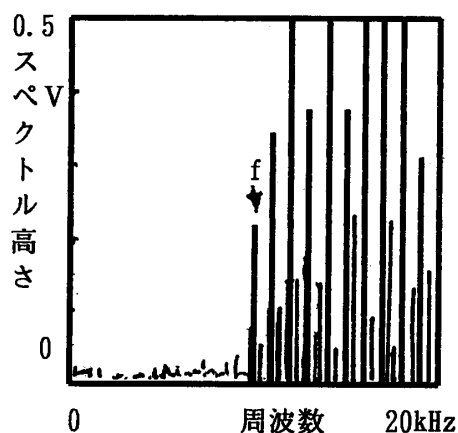


図1 厚さ200mmの供試体で低い周波数のパルス送波のときのスペクトル

た測定である。

3. 1 測定方法

厚さ測定の探触子を、トンネル内面に当てる方法として、2本のスプリング付きの伸縮棒を製作し、棒の先端に両探触子を取り付け使用した(図2)。測定面へのグリース塗布はせず、含水泥状物が付着した測定面に棒のスプリング圧力で、探触子を押し当てた。超音波測定は同一断面で、天端(上)と左右の合計3点であり、ボーリングの削孔長は、天端と右(一部左)と、地(真下)の3点であった。150mmφのボーリング孔の近くでは、反射波法の測定の障害となったので、ボーリング位置よりトンネル長さ方向で2000mm離して測定した。

なお、厚さの読取値を校正するコンクリートの音速には、採取したコアの平均値4.3km/sを採用した。

3. 2 測定の状況と発生した問題点

厚さ測定の初めの手法である低い周波数のパルスの送波では、図3のような単純なスペクトル線群が見られ、数例では f に相当した1本のスペクトル線のみのもこともあった。しかし、パルスの繰返し周波数を増加して f に重ね、正確に厚さを求める後の手法では、対象周波数 f の近くで、厚さで3~5%異なる似た高さの2~4本のスペクトル線が測定された。これはコンクリート裏面に凹凸のある場合の現象である。裏面に凹凸があっても大体は内面と平行な裏面であると想像し、周波数 f の近くのスペクトル線のなかで、最も大きなスペクトル高さの周波数を厚さの測定値とした。しかし3~10%の測定誤差はあり得た。測定点に垂直な裏面までの距離が厚さとして測定される模様を図2に示す。天端付近で断面が極端に凸な場所では、初めの測定手法の画面の特徴から判断して、真上方向の遠距離の反射波が測定されていても、斜め上横方向の近い位置の反射波のスペクトルが大きく、高いスペクトル線を選定するこの判定法に矛盾となる場合もあった。測定法を単純にする目的で、最大のピークを採用することにした。

3. 3 測定結果

超音波法の厚さ測定結果をボーリング削孔長と対比し表1に示す。施工の複雑な、裏面の

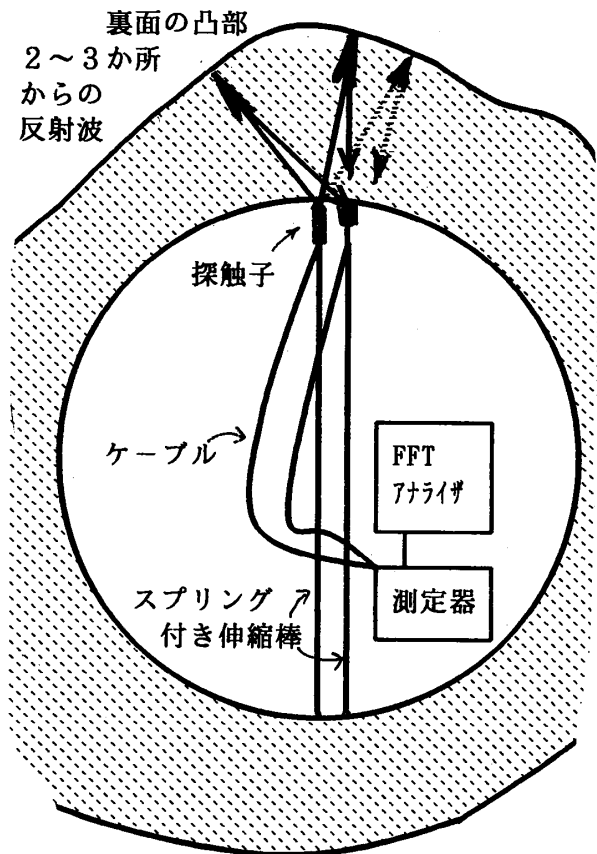


図2 トンネルの覆工厚の測定

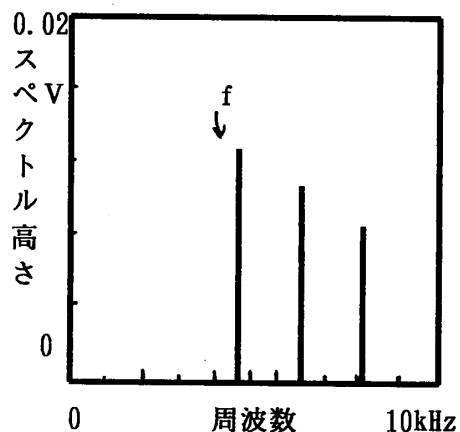


図3 トンネルで厚さ500mm付近で低い周波数のパルス送波のスペクトルの例
(スペクトル線は概念図)

凹凸の大きな、岩盤が地山のトンネルのコンクリート厚さが、表1の誤差（精度）で測定できた。鉄筋は測定に影響しなかった。トンネルの裏面に凹凸がある場合に見られる、複数の厚さの反射波（図2）のスペクトル線が測定された。結果のように、測定値と削孔長とが比較的似ているもの、両者がかなり異なるものが見られる。ただし大きく異なる場合、または付近と異なる場合については、測定点を移動して再測定すると、精度が改善できると考えられる。

表1 トンネルのコンクリート覆工厚さの超音波法
による測定結果と削孔長さとの比較
(単位はmm, 測定位置は削孔位置と2000mm離れた)

長さ 位置	設計巻厚		支保工	鉄筋	巻厚 と 断面内の位置	
	本巻	捨巻			超音波法	削孔長(右)
1	300	—	—	—	天 360	300
1					左右630、690	350
2	400	—	枝梁	—	天 600	660
3	400	—	合掌	有	天 520	540
3					左右660、590	690
4	400	—	—	—	天 600	450
5	500	300	枝梁	有	左右690、770	690
6	500	—	合掌	—	天 650	600
8	400	—	後光梁	有	天 590	1150
9	300	—	—	—	天 490	320
9					左右620、800	460
10	350	—	—	—	天 550	450
10					左右600、610	550
12	450	—	—	—	天 510	610
12					左右740、760	450
13	400	—	—	—	天 490	410
					左 620	左510

(注) 校正の音速は4.3km/sとした

4. 柱のコンクリート打継部の内部欠陥・内部異常の測定

浮き桟橋や連壁のような、超音波透過法が適用できない場合の超音波の厚さ測定法で、B現場のコンクリート柱（断面400×600mmなど）の打継ぎ部の試験を実施した。打継ぎ部の表面の一部に外観の劣る箇所があり、内部欠陥が無い多数点で調べた。測定装置では、厚さ測定でスペクトルピークの極大値を探し、音速を4km/sと仮定すれば、見掛けの厚さが自動的に読取れるので、実寸法は同じでも欠陥部分は健全部より見掛け上厚く測定されることになり、欠陥を検出できる。この原理を欠陥測定に利用し測定した。

4.1 測定法

厚さ測定で、送受両探触子を柱の垂直面に並べて安定に当てる方法として、探触子をスプリングを介して吸着箱に取り付け、吸着させ使用した（図4）。打継ぎ部で幅600mmの柱の両端から、約70mmの内側の2点と、中央の1点の合計3点につき、400mm方向の厚さを測定した。またこの測定点から約400mm上の健全部でも見掛けの厚さを測定し、打継ぎ部と健全部の見掛けの厚さの比を求め、欠陥程度を数量化した。400mm程度の厚さの構造物では、欠陥部と健全部との見掛けの厚さの比が、5%～（10%）以上厚く測定されると、問題視されたこと（表2）を参考にし、一部の破壊試験でこれを確認した。

4.2 測定結果

測定は透過法より能率的であり、また密な鉄筋でも、厚さ測定の障害にならなかった。最初の超音波パルスを低い周波数で送波し、受信波をフーリエ解析したスペクトル図では、内部欠陥のある部分と健全部とで多少異なった。しかし欠陥部でのスペクトルは一様でなく、感度が悪く、欠陥の評価に使用できなかった。

見掛けの厚さを測定し、その比を求めた方法は、測定点によっては欠陥部のスペクトルピークの高さや分布が多少異なることはあったが、異常程度の数量化による評価ができた。欠陥部の柱の端・中3点の測定値のうち、最大値の点に着目し、厚さの比は大部分+ (0 ~ 1) %であり、+ (2 ~ 4) %台の合計5点とともに、疑問とされる+ 5 %以上の箇所が測定された。結果を表3に示す。+ 5. 6 %の箇所の破壊試験の観察では、内部の密な鉄筋のまわりが粗で、指先が半分入るような空洞が3 ~ 4本ほど見られた。

5. まとめ

新しい厚さ測定法で、地山が岩盤、コンクリート背面の凹凸が大、施工が複雑、厚さ300 ~ 800 mmのトンネルの覆工厚を測定し、ボーリング削孔長と比較した。鉄筋のある部分を含め、測定できたが、裏面の凹凸に原因する測定誤差があった。またこの厚さ測定法でコンクリートの柱を測定し、打継ぎ部と健全部の見掛けの厚さを比較する方法で、鉄筋まわりの充填不良の内部欠陥を能率的に検出することが出来た。

参考文献

- [1] 山口哲夫：「新しいコンクリートの厚さ測定法と測定装置」、非破壊検査、VOL. 39、NO. 3、pp. 217 ~ 222、1990
- [2] 山口哲夫、丸茂文夫：「コンクリートのひび割れ深さと厚さの測定法」、コンクリート工学年次論文報告集、12-1、pp. 363 ~ 358、1990
- [3] 山口哲夫：「コンクリートの厚さを計る」、超音波TECHNO、11月号、pp. 38 ~ 41、1991

表2 健全部と欠陥部の見掛けの厚さの比の参考値

例	構造物	厚さmm	欠陥内容	厚さの比 %	文献
1	浮き桟橋	200	充填不足	+ 10 ~ 25	[1]
2	浮き桟橋	250	ジャンカ	+ 10 ~ 25	[1]
3	柱(C欄)	400	打継ぎ不良	+ 5. 5など	未発表
4	人工欠陥の供試体	500	バラ粗骨材 纏め投入部	+ 5. 8 (6箇所の平均値)	未発表 WG韃

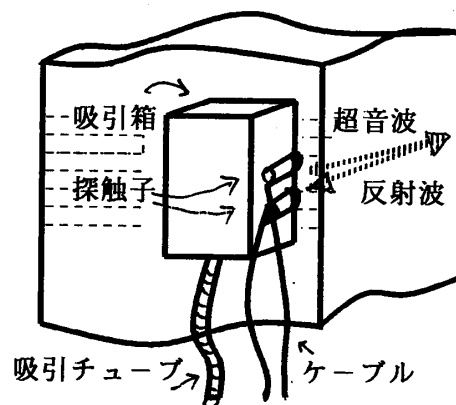


図4 厚さ測定法での柱の内部欠陥調査

表3 見掛けの厚さの比が5 %以上の測定値

柱の区別	厚さの比	記事
1	+ 5. 1 %	内部観察
2	5. 6	
3	6. 4	
4	16. 2	外観が悪い