

# 超音波によるコンクリート構造の評価

- コンクリートの超音波測定は出来るのか？ -

(株)ジャスト 池ヶ谷 靖

## 1.はじめに

コンクリート構造物は社会で建築・土木で広く用いられている。しかし、コンクリート構造物は完成して使用が開始されるとその内部の埋設物を確認したり、その健全性を確認することは困難となる。

従来は、設計図通り施工されていることを確認し、目視で形状・寸法やひび割れの状態を確認し、そのコンクリート構造を代表するところからコンクリートコアを採取しコンクリート構造の評価が行われてきた。

しかしながら、外部からの目視による観察や、形状・寸法測定では内部の健全性を確認することは困難であり、さらにコンクリートコアは採取される数が極めて少数のため十分な成果が得られているとは言えない。

その一方、使用中のコンクリート構造物に使用者に不安を与えるような大きな開口のひび割れが発生したり、雨漏り、部分的な剥落等から、コンクリート構造の評価を求められることが増加している。

さらに、既存の構造物を改修して使用することも増え、その際にコンクリート構造内の正規の埋設物（鉄筋・電配管等々）や予期せぬ埋設物（ジャンカ等）の位置を非破壊で測定することが多くなっている。

## 2.コンクリート構造へ適用された非破壊試験

コンクリート構造物に適用された非破壊試験は以下のようなものがある。

### (1) X線透過試験

コンクリート内の埋設物の検出のために図1に示すようなX線透過試験が適用されている。

適用可能な条件として、試験対象の部位の背後にフィルムを設置することができ、コンクリートの厚さが約300mm程度以下であることである。

そのような制限があるものの、建築構造物では建物の改修に関わる壁・床への穴あけで、多く用いられている。（建築構造物では壁・床の厚さがほとんど300mm以下）

また、耐震診断等で鉄筋径の測定・ジャンカの有無・版厚の測定にも用いられる。

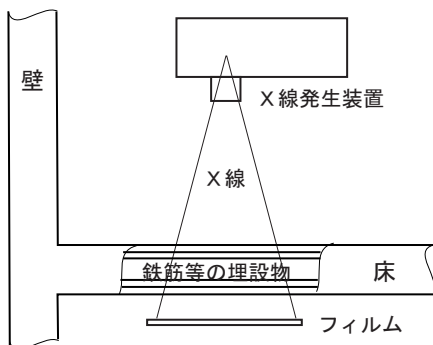


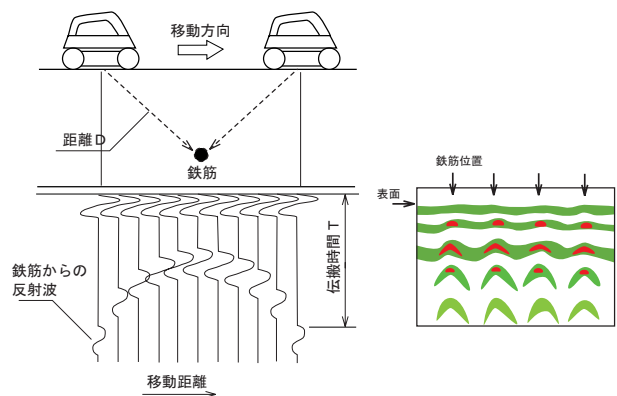
図1 コンクリート構造のX線透過試験

### (2) RCレーダ

コンクリート内の鉄筋の平面的な位置検出及びかぶりの測定にRCレーダが用いられている。RCレーダは図2に示すように、エンコーダーの付いたアンテナをコンクリート構造物上で走査することによって得られた電磁波の反射波を合成することによって、鉄筋位置や深さを測定する。

コンクリート表面側からもっとも近い鉄筋が検出される。また、電磁波を反射するのは誘電率の差が大きい必要があり、そのため一般的には空洞やジャンカは検出が困難である。

しかし、鉄筋の平面位置の分布とかぶりを比較的正確に測定することができるため、耐震診断や穴あけ時の鉄筋の切断の防止に多く用いられている。



各測定で得られた鉄筋からの反射波を合成して、レーダ画面に鉄筋位置に対応して図形を描かせる

図2 RCレーダによる鉄筋検出

### (3) 過流探傷装置

コンクリート内の鉄筋検出には、古くから過流探傷法が適用され、パコメータ、プロフォメータという商品が発売され、鉄筋の位置のみならずかぶりや鉄筋径も測定できると宣伝されてきた。

しかしながら、現実の測定では鉄筋位置の検出は正確に行われるが、かぶりや鉄筋径の測定にはうまく測定できないことが少なくない。

装置が簡便で、サイズも小さいためRCレーダが適用できない箇所でも鉄筋の検出が出来ることから、最近では、RCレーダで測定が困難な箇所の測定に用いられることが多い。

### (4) ファイバースコープによる調査

コンクリート内のジャンカを検出する場合、コンクリートの厚さが300mm以下で両面にアクセスできる場合はX線透過試験が有効である。

しかし、コンクリートの厚さが厚い場合はX線透過試験

が適用できなくなるため、ミストドリルによる穴あけとファイバースコープによる目視の調査が行われる。(これは非破壊試験でなくわずかに損傷を与える試験のため微破壊試験といわれることもある)

これは、図3に示すように、ジャンカが予想される箇所にミストドリルで小径の穴をあけ、ファイバースコープでジャンカの有無を確認するものである。

特長として、ジャンカを直接確認することが出来るが、破壊を伴うため、試験できる箇所が限られることと、わずかでもジャンカからずれると大きなジャンカでも検出することができない。

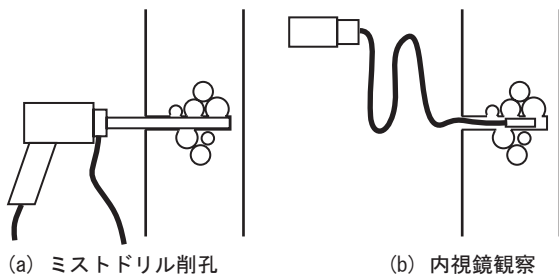


図3 内視鏡調査によるジャンカ検出

### 3. コンクリート構造への超音波測定の適用

現在、コンクリート構造物に適用される非破壊試験とその問題点を考慮し、さらに今後期待される超音波測定(探傷とは限らない)について考慮するなら、コンクリート構造への超音波測定の適用は以下と考えられる。

- (1) コンクリートの版厚の測定
- (2) コンクリートのひび割れの測定
- (3) コールドジョイントや打継ぎ部の健全性の確認
- (4) ひび割れ、コールドジョイント等の補修の確認
- (5) コンクリート強度の推定
- (6) ジャンカの検出
- (7) コンクリート内の埋設物検出(とくに非金属)

これらがどの程度現場測定において実用的に行われているかといえれば以下ようになる。ただし、この場合の超音波測定法はパルス反射法もしくはパルス透過法である。

- (1) コンクリートの版厚の測定

無筋のコンクリートならば、図4に示す反射法を用いた場合600mm程度まで測定が可能で、透過法では数m程度まで可能である。ただし、劣化したコンクリートや鉄筋が入ることによってかなり測定できる厚さが減少する。

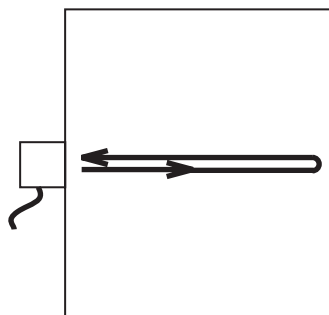


図4 反射法による厚さの測定

- (2) コンクリートのひび割れの測定

多数のひび割れが集中してある場合は超音波測定によってひび割れの程度を測定することは困難であるが、単独あるいはそれに近いひび割れの深さはそれなりに測定できる。ただし、ひび割れは鉄筋で止まっている(むしる鉄筋から発生している)ことが少なくないことや割れの内部で部分的に再接触したり異物が入り込んだりして高い精度で測定できるとは限らない。

また、その測定手法は図5に示す、2探触子透過法で超音波の伝搬時間からその深さを求める方法が安定してデータが得られる場合が少なくない。

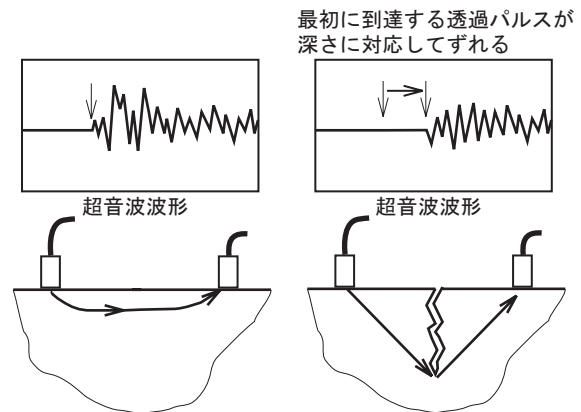


図5 2探触子法によるき裂深さ測定

- (3) コールドジョイントや打継ぎ部の健全性の確認

コールドジョイントや打継ぎ部の健全性の確認に図6の方法が適用される。

この場合、超音波の透過量から定量的に評価するのは困難であるか、コールドジョイントや打継ぎの不良に関しては確実に検出できる。

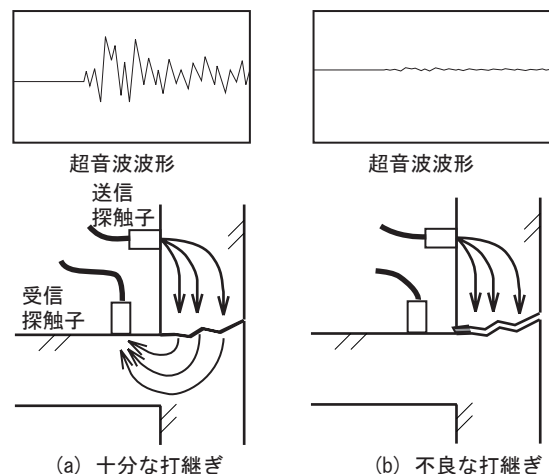


図6 コールドジョイント、打継ぎの確認

- (4) ひび割れ、コールドジョイント等の補修の確認

ひび割れ・コールドジョイント・打継ぎ部は、エポキシやモルタルの注入によって充填補修を行う場合がある。

その場合、図7に示す、2探触子透過法によって、超音波の透過量から補修が十分に行われているか確認することができる。

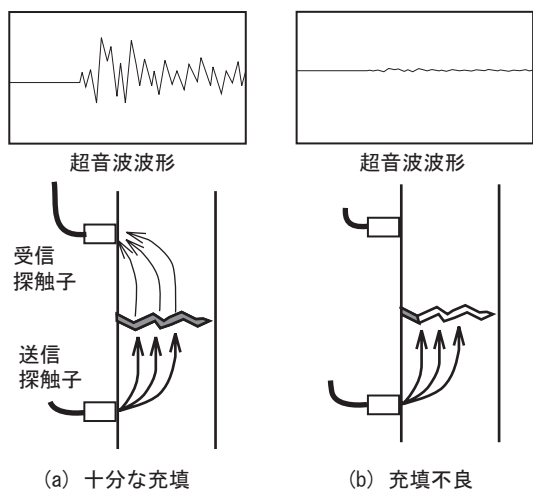


図7 2探触子法による充填の確認

### (5) コンクリート強度の推定

コンクリート強度の推定にコンクリート音速の測定が行われる。過去に、この測定法があまり有効とはいえないデータが発表されているが<sup>1)</sup>、測定法が一定とはいえないことや、得られた超音波波形のどの部分を読み取るのかが一定でないものと考えられ、音速測定自体のバラツキがかなり含まれているものと考えられる。

実際、種々の超音波測定器で比較すると異なる音速値が表示される。

そこで、パルス透過法を用いて、透過パルスの最初に現れる立上り(もしくは立下がり)から音速を求めると、コンクリート強度と音速に相関関係が得られる。

ただし、実際の測定に際しては、測定対象で数箇所のコア抜きを行い、圧縮強度と音速の対応を確認しておくことが重要である。

また、2探触子法による音速測定は図8に示す2つの方法があるが、(b)の方法が測定精度は高い。

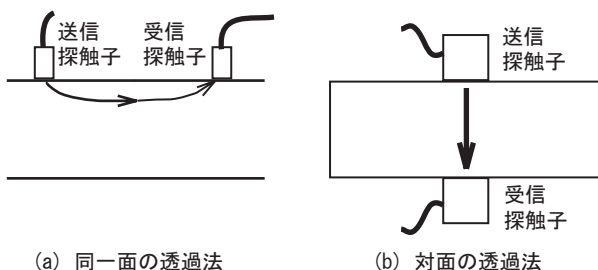


図8 2探触子法による音速測定法

### (6) ジャンカの検出

コンクリート内部のジャンカの検出は、図9に示す反射法(1探触子法)と、図10に示す透過法(2探触子法)がある。

反射法では、ジャンカが比較的浅く著しく広範囲にある場合は、ジャンカからのエコーを検出できる場合もあるが、一般的には図に示すように底面エコーの消失でジャンカが検出される。

それに対して、透過法では、ジャンカ部分で超音波が伝達されなかったり、迂回して伝搬することから透過パルス

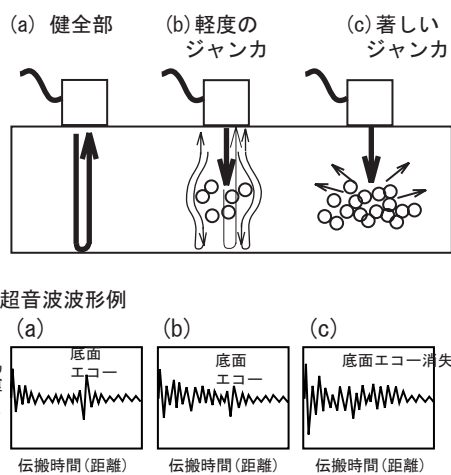


図9 反射法によるジャンカ検出

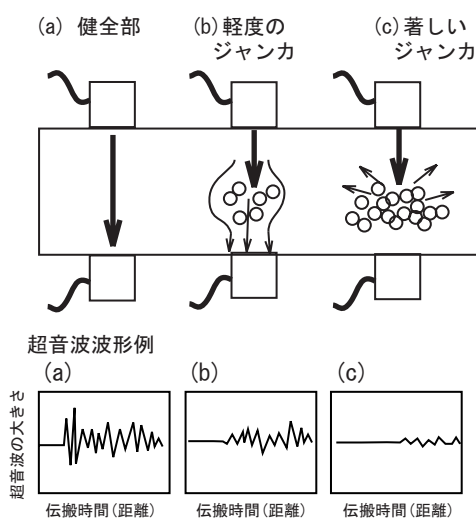


図10 透過法によるジャンカ検出

の減少やビーム路程の増大で検出することができる。

反射法と透過法の選択は、対象物の厚さが薄い場合(300mm程度以下)は、反射法が適用できるが、それより厚かったり鉄筋量が多い場合は透過法しか適用できない。

### (7) コンクリート内の埋設物検出(とくに非金属)

コンクリート内の埋設物のうち非金属のものについては、X透過試験が適用できない場合は、超音波測定が1つの有力な方法である。

しかしながら、平面状の非金属の埋設物(発泡スチロール等)は容易にエコーが得られるが、CD管等の円筒形の埋設物に関しては、明確なエコーが得られない。

得られたエコーに関して、種々の信号処理を行っても、このような円筒形の埋設物からのエコーが安定して得られているとは言えず、多くの場合埋設物からの信号だけを抽出することは困難である。

## 4. 実際の超音波測定の適用と問題点

実際のコンクリート構造あるいはその試験体について超音波測定の適用例とその問題点について述べる。

### (1) コンクリートの版厚の測定

図11に示す厚さ100mm~600mmの無筋のコンクリート試験体の版厚測定を反射法(1探触子法)で実施した。

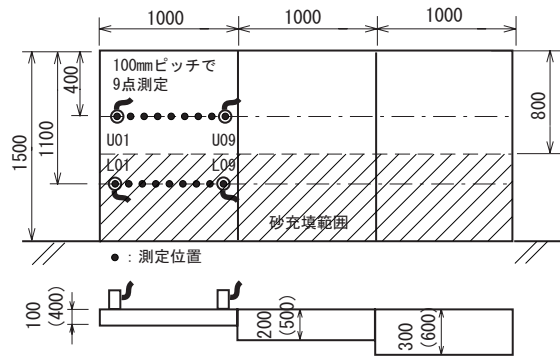


図11 版厚測定試験体と測定位置

測定は直径20mm、40mm、76mmの探触子で行ったが、直径20mmの場合は版厚100mmでも底面エコーが得られず、直径40mmでは版厚200mmまでしか有効に測定できなかった。それに対して、直径76mmの探触子の場合、600mmまではほぼ問題なく底面エコーが得られた。

得られた底面エコーからの版厚とSN比(底面エコーとその近傍のノイズの比)図12～図17に示す。

また、直径20mm、40mm、76mmの探触子の代表的な超音波波形を図18～図21に示す。

これらの結果から、コンクリート版厚の超音波測定では十分なエコーを得るためには振動子の大きさが重要な要素

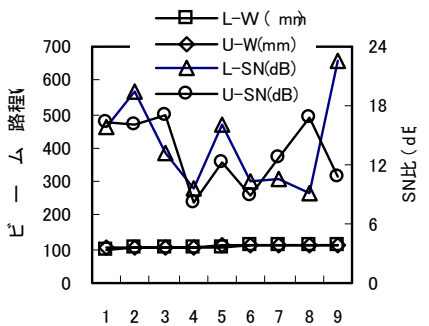


図12 エコ高さ と SN比 (版厚100mm)

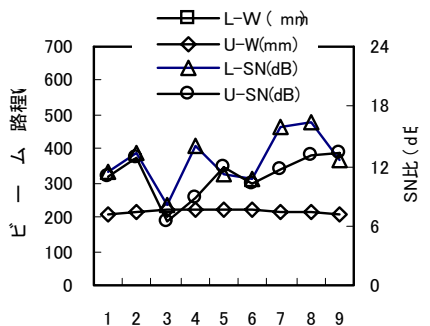


図13 エコ高さ と SN比 (版厚200mm)

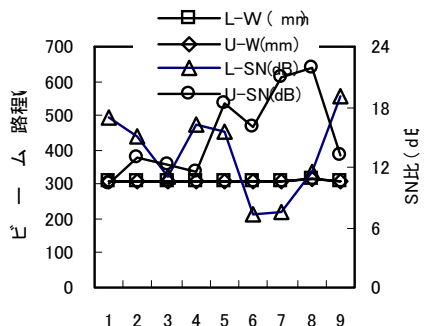


図14 エコ高さ と SN比 (版厚300mm)

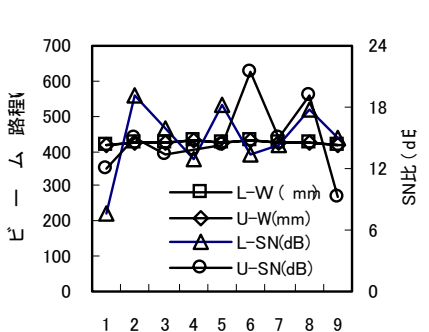


図15 エコ高さ と SN比 (版厚400mm)

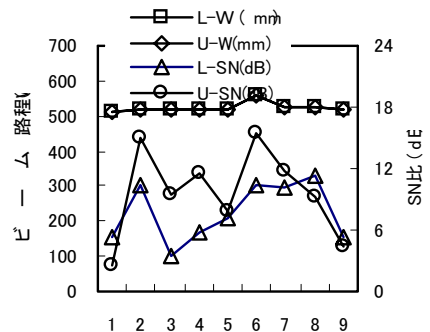


図16 エコ高さ と SN比 (版厚500mm)

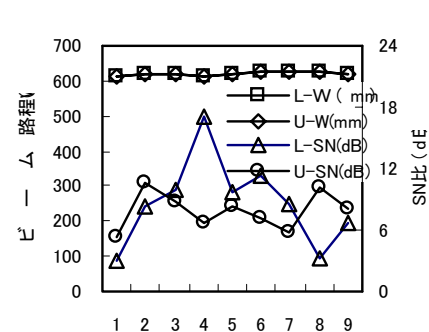


図17 エコ高さ と SN比 (版厚600mm)

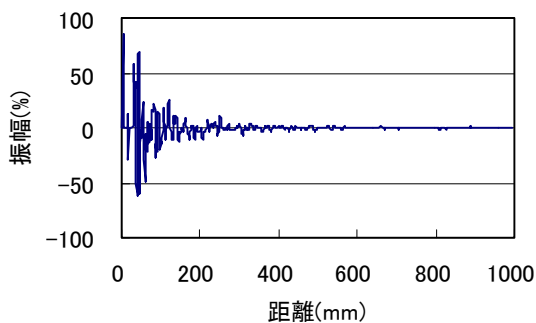


図18 20探触子波形例 (版厚100mm)

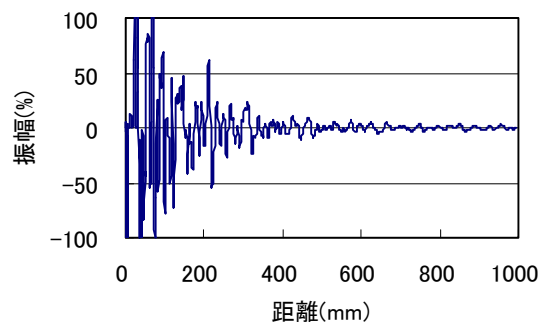


図19 40探触子波形例 (版厚200mm)

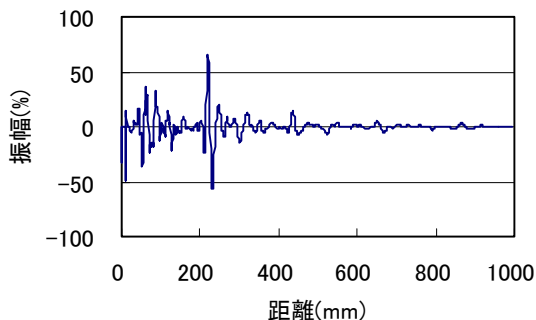


図20 76探触子波形例 (版厚200mm)

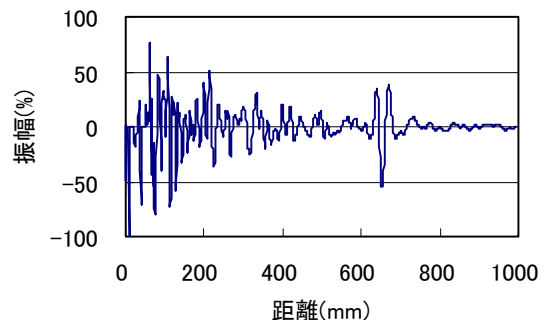


図21 76探触子波形例 (版厚600mm)

であることが確認できる。

それを確認するために、図22に示す同サイズのモルタル試験体とコンクリート試験体で超音波音場の比較を行った。その方法は、2探触子法を用いて、送信側の探触子の径を変え、受信側の探触子位置を変化させることによって超音波音場を測定する。

測定結果を図23及び図24に示す。図に示すように、モルタル試験体では、探触子の径が小さくなくても中心で受信される透過パルスの大きさもあまり変わらず、その音場についても大差がない。

しかしながら、コンクリート試験体の場合は、探触子の径が小さくなると中心で受信される透過パルスも半分程度になり、音場も小さくなる。

このことから、反射法(1探触子法)を適用した場合、コンクリート試験体では十分な底面エコーを検出するためには、探触子径が大きい必要があることが確認される。

鉄筋が入ったコンクリート造の場合、図25及び図26に示すような版厚の測定結果が得られる。

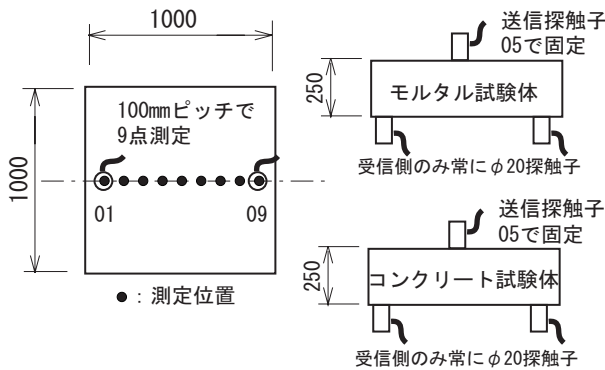


図22 音場測定試験体

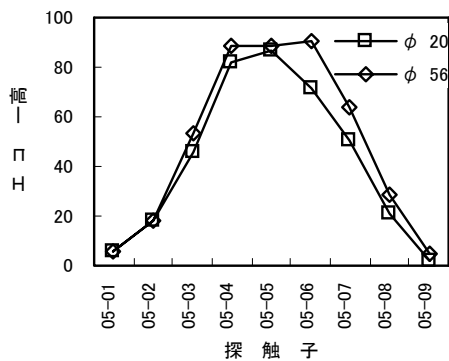


図23 測定された音場(モルタル試験体)

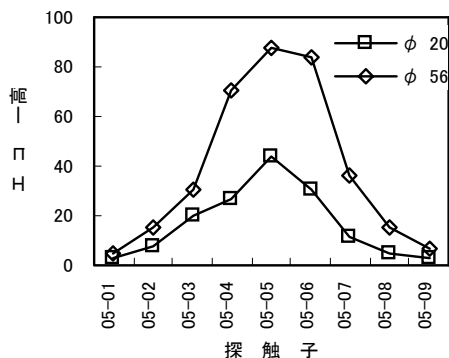


図24 測定された音場(コンクリート試験体)

図25の場合は底面エコーはエコーの周囲のノイズと6dB以上の差があり、容易に判別することができる。

しかし、いくつかの測定点で図26に示すように底面エコーが明確に得られない。

この測定点について詳細な調査を行った結果、その部分に鉄筋があることが確認された。

つまり、コンクリートの超音波測定では鉄筋の影響を無視することができない。

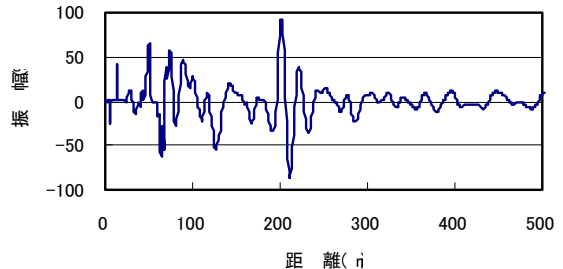


図25 鉄筋コンクリート造の版厚測定(十分なエコー)

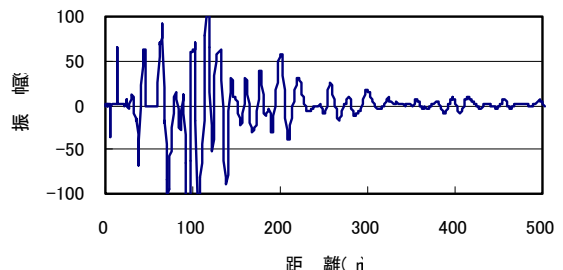


図26 鉄筋コンクリート造の版厚測定(不明確なエコー)

## (2) コンクリートのひび割れの測定

実際のコンクリートのひび割れの測定は、開口幅・長さを表面の目視で測定し、深さを超音波で測定する。

その際、伝搬時間の変化から深さを測定するが、建築構造物では、ひび割れの深さが鉄筋までなのか全断面にわたるものか推定することが重要である。

健全部の透過パルス波形と割れ部分の透過パルス波形を図27～図29に示す。

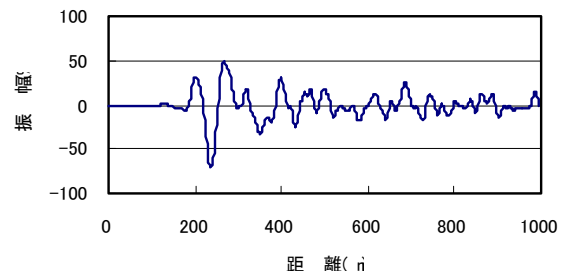


図27 健全部での透過パルス波形

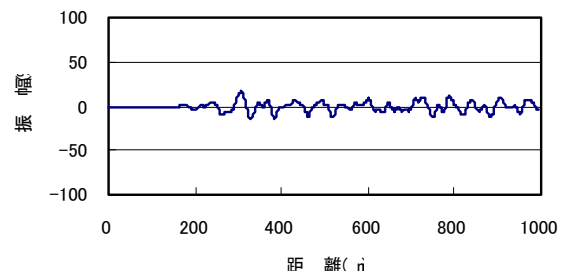


図28 浅いき裂の透過パルス波形

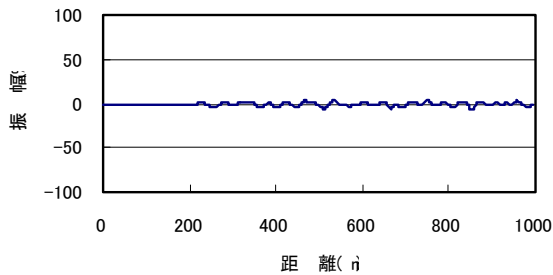
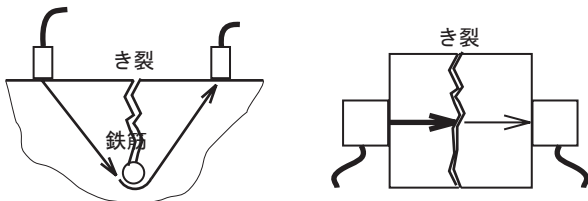


図29 深いき裂の透過パルス波形

ひび割れの超音波測定では、図28に示すようにき裂先端に鉄筋がある場合や開裂した割れ同士をある程度押し付けると超音波が透過してしまうことである。

(a)の場合は、鉄筋近傍での回折が鉄筋近傍の状態によって異なるため、測定結果として割れ深さに10mm～20mm程度のバラツキが生じる。

さらに、(b)の場合は、透過パルスの大きさがかなり減少するが、それでもき裂部分でパルスが透過するため、割れ深さが正しく測定されないこともある。



(a) 鉄筋での超音波の回折 (b) き裂での超音波透過

図30 き裂深さが正しくない要因

(3) コールドジョイントや打継ぎ部の健全性の確認

コンクリートの打継ぎ部は一体化されていると、図31に示すように、その打継ぎ部で超音波は十分に透過する。

しかし、不良な打継ぎ部の場合は図32に示すように、き裂の場合と同様に得られる透過パルスがかなり減少する。

ただし、き裂の場合と異なり、ビーム路程(超音波の伝搬距離)が大きくなならないで、透過パルスの大きさだけが減少することもある。

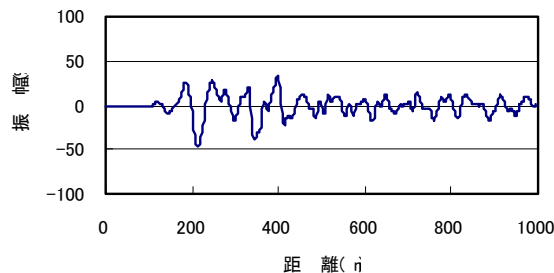


図31 健全部の透過パルス波形

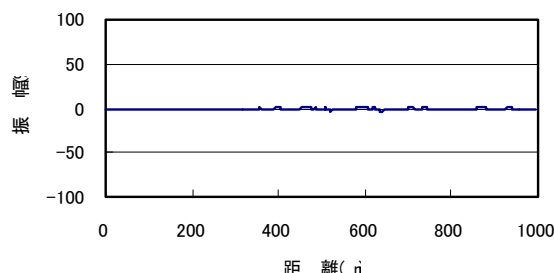


図32 不良打継ぎ部の透過パルス波形

(4) ひび割れ、コールドジョイント等の補修の確認

ひび割れ・コールドジョイント・打継ぎ部にエポキシやモルタルを注入し補修を行う場合、その部分での超音波の透過量を測定すると補修が十分に行えたか確認することができる。

ひび割れ・コールドジョイント・打継ぎの不良部では、2探触子透過法で図33のように、その部分でほとんど超音波が透過しない。(コンクリート版厚200mmの壁)

充填補修が十分な深さまで行われると、充填部分で超音波が伝搬し、図34に示すような超音波波形が得られる。

そのような超音波波形が得られた箇所を、補修の充填剤の注入前、注入後について、ミストドリルで観察穴をあけファイバースコープで観察した結果を図36～図41に示す。

図に示すように、充填前(図36～図38)では、コンクリー

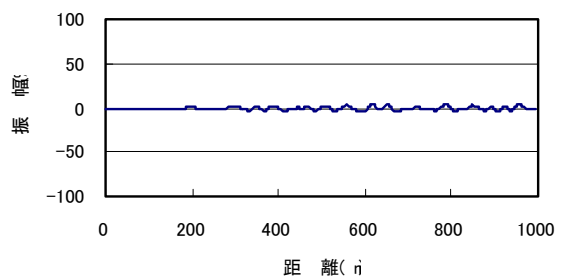


図33 不良打継ぎ部の透過パルス波形

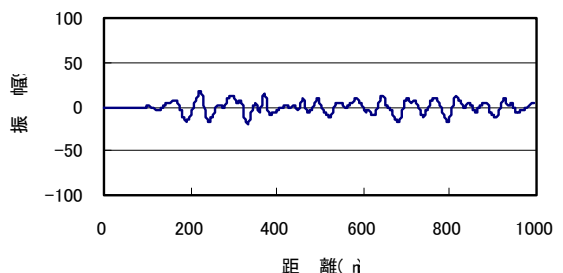


図34 図33の充填後の透過パルス波形

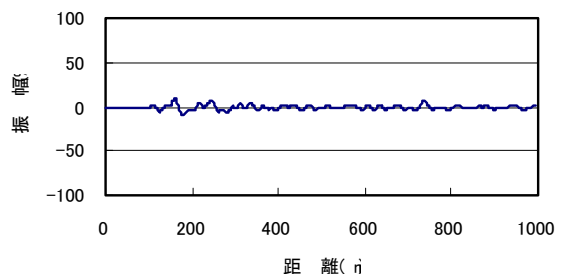


図35 不十分な充填後の透過パルス波形

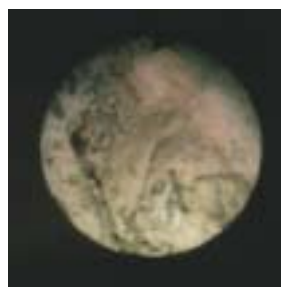


図36 側面充填前(深さ150)



図37 側面充填前(深さ100)

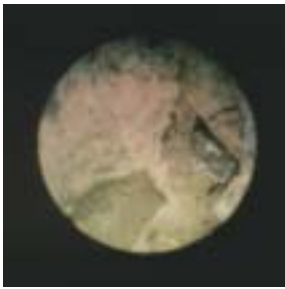


図38 側面充填前(深さ50)

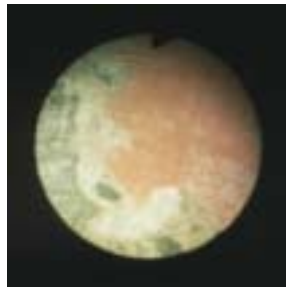


図39 側面充填後(深さ150)

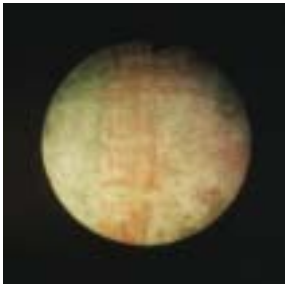


図40 側面充填後(深さ100)



図41 側面充填後(深さ50)

ト部のき裂やジャンカ等が確認されるが、その近傍の充填後(図39～図41)では着色された充填剤が浸透してきているのが確認され、コンクリート部と一体になっていることが確認された。

また、その充填剤は、その部分のコンクリートの版厚が200mmであったが、深さ0mm～150mmの間で十分に充填されていることが確認されている。

ひび割れ・コールドジョイント・打継ぎの不良部の充填補修が十分に行えなかった場合、その部分で超音波が十分に伝搬しないため図35に示すような超音波波形となる。

この部分で、コア抜きを行い断面を確認した結果、充填剤が表面から20mm程度しか充填されてなかった。

図に示すように、充填が十分に行われている場合と充填が不良の場合は、明確な超音波波形の差となるが、充填の深さを定量的に測定することは困難である。

それは、超音波透過量によって充填状態を確認しているため、コンクリートの表面状態の影響やコンクリート自体の超音波の透過性の問題で、図42及び図43に示すように、健全部でも超音波透過量に差があるためである。

また、健全部と充填良好部の超音波透過量を比較すると、充填良好部の超音波透過量は減少する。これは、コンクリートと充填剤の密度・音速が同一でないため超音波的性質が異なるためである。

しかし、充填の良否でかなり超音波の透過量の差がある

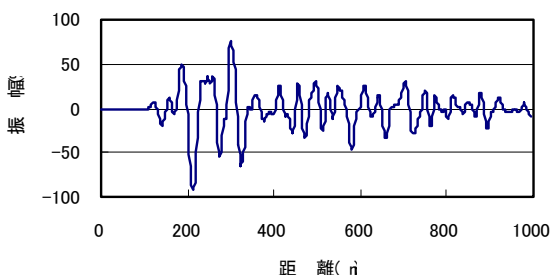


図42 健全部の透過パルス波形1

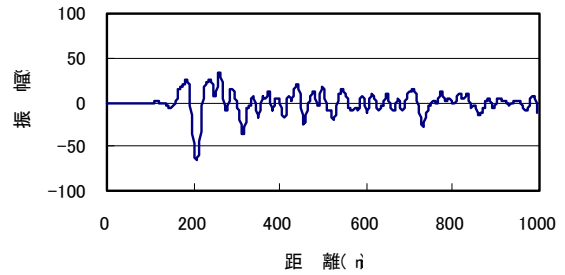


図43 健全部の透過パルス波形2

ため、充填の良否の判定は行えるものと考えられる。

もし、充填深さをある程度正確に測定する必要があるならば、充填側と反対側から超音波測定によって測定することが可能である。

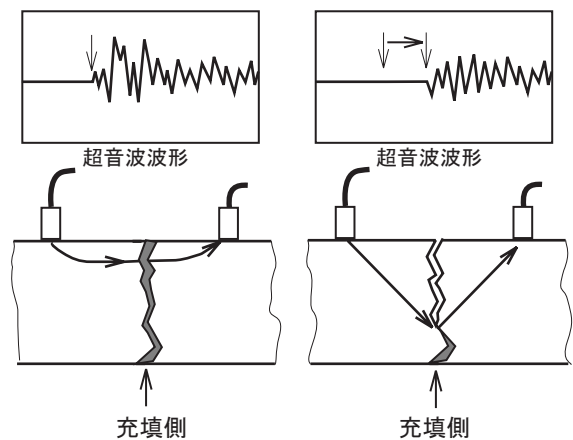


図44 背面からの充填深さの確認

#### (5)コンクリート強度の推定

大型のコンクリート試験体を製作する際に、同時に圧縮試験用のコンクリートコアを製作した。また、この試験体は水コンクリート比を変えることによって、強(通常強度)、中(やや強度が低下したもの)、弱(著しく強度が低下したもの)の3種類を製作した。

測定方法は、図45に示すように、コア試験体に対して20mmの探触子及び76mmの探触子で透過法を適用した。

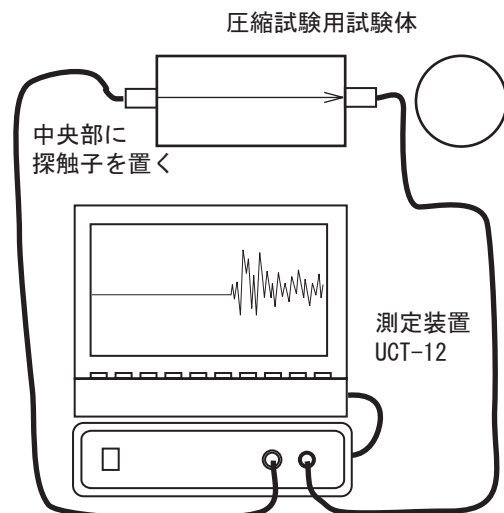


図45 圧縮試験用コアの音速測定

さらに、同時に製作した大型のコンクリート試験体について、図46に示すように、厚さ1m方向の76mmの探触子による同様な透過法による音速測定を行った。

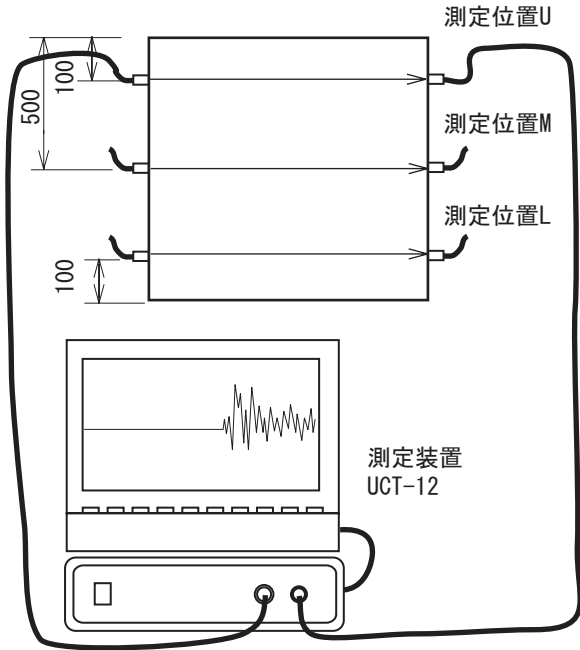


図46 大型試験体の音速測定

測定結果を表1及び図47に示す(音速測定時の音速読み取り方は図48による)。図に示すように試験体の予想される強度と超音波測定の結果は明確な相関関係が見られる。(コンクリートコアの圧縮試験は他の実験の関連でまだ行われていないが水セメント比と強度は深い関係にある)

また、コンクリートコアと大型試験体の音速の測定値に関しても、図49に示すように、十分な対応があることから、コンクリートの音速測定から強度を推定することが可能であると期待される。

実際の構造物で音速測定を行う場合、比較的精度の高い対面透過法の適用が困難なことがある。その場合、同一面

表1 圧縮試験用コアの音速測定値

テストピース	音速(m/sec)		
	20	76	
<b>6/20 強</b>	0620K1	4425	4348
	0620K2	4370	4295
	0620K3	4408	4370
	0620K4	4348	4310
<b>6/25 中</b>	0625C1	4073	3976
	0625C2	4020	4020
	0625C3	4106	4040
	0625C4	4060	4060
	0625C5	4020	3957
<b>6/28 弱</b>	0628J1	3511	3438
	0628J2	3650	3650
	0628J3	3668	3589
	0628J4	3741	3607
	0628J5	3778	3668

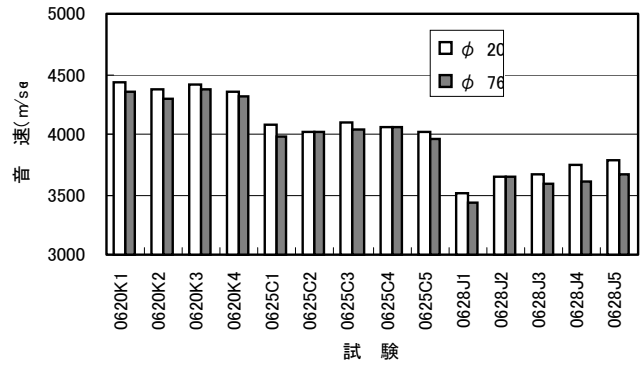


図47 圧縮試験用コアの音速

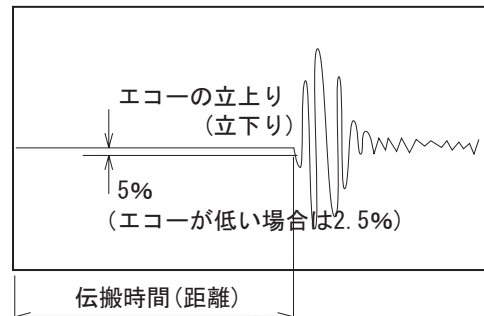


図48 超音波波形からの音速読み取り方法

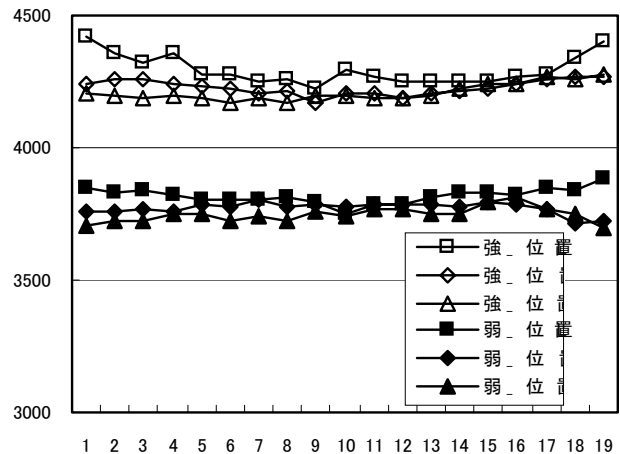


図49 大型試験体の音速

での透過法か反射法(1探触子法)を適用する。

同一面での透過法を適用する場合は、対面透過法との音速の対応を確認する必要がある。また、同一面での透過法での探触子間の距離はコンクリートの版厚によって異なるが、0.5m ~ 1m程度の距離を取る必要がある。

反射法(1探触子法)で音速を測定する場合は、何らかの方法でコンクリートの厚さを確認する必要があり(X線透過法による厚さ測定、コンベックス等による厚さ測定)さらにコンクリートの状態や厚さによる超音波波形の変化に注意する必要がある。

これは、反射法(1探触子法)では、最初のエコーの前にかかなりの高さの骨材やコンクリート内の埋設物のからのノイズにより、エコーの最初の立上り(あるいは立下り)によって音速を測定することが困難なため、最大エコー高さで音速を測定する必要があるためである。そのため、図

50及び図51に示すように、コンクリート中を伝搬した超音波が伝搬距離が大きくなると周波数成分が低周波に移動してピーク位置が現れる位置が遅くなるため、音速に変化がなくても音速が遅く測定されてしまう。

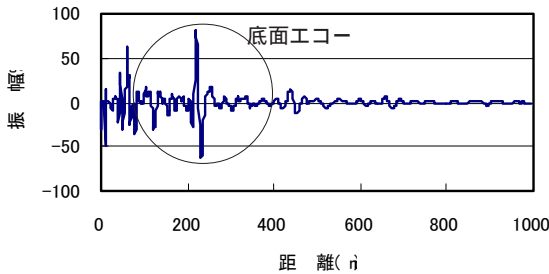


図50 エコー波形の変化(版厚200mm)

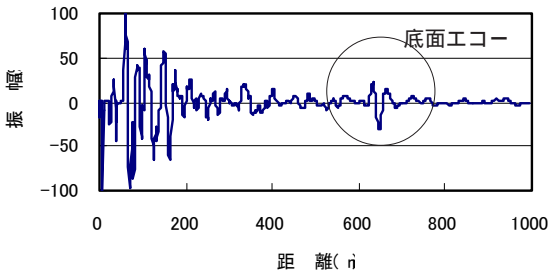


図51 エコー波形の変化(版厚600mm)

(6)ジャンカの検出

図52に示す試験体内部のジャンカの検出では、反射法(1探触子法)を適用した。

測定結果を図53～図56に示す。図に示すように浅いジャンカの場合はジャンカ自体からのエコーでジャンカを検出できる場合もあるが、通常は底面エコーの消失でしかジャンカを検出することができない。

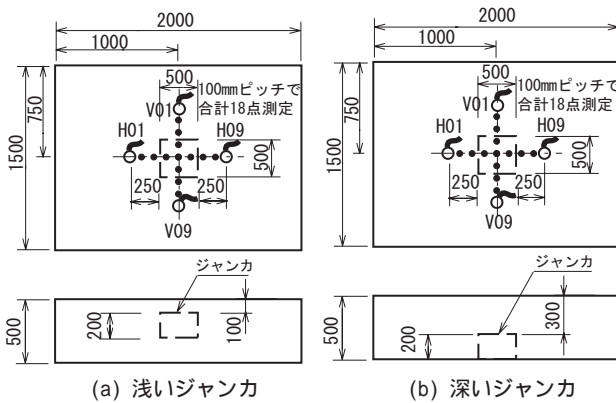


図52 ジャンカ試験体

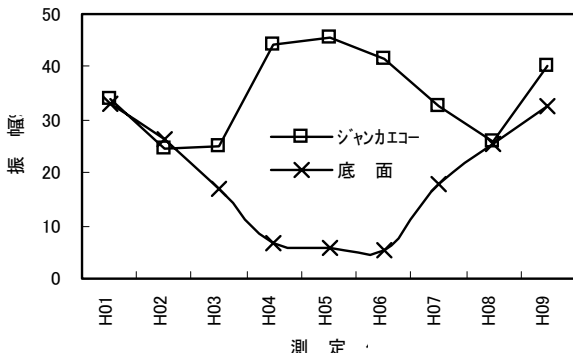


図53 浅いジャンカ試験体エコー(水平方向測定)

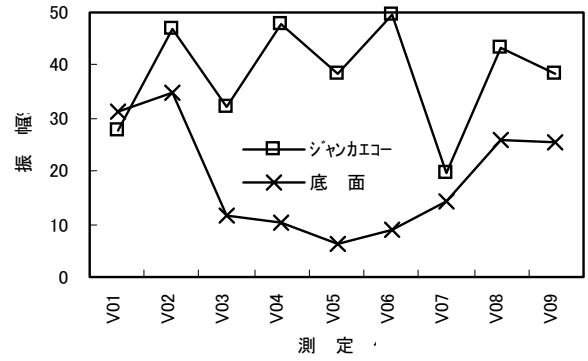


図54 浅いジャンカ試験体エコー(鉛直方向測定)

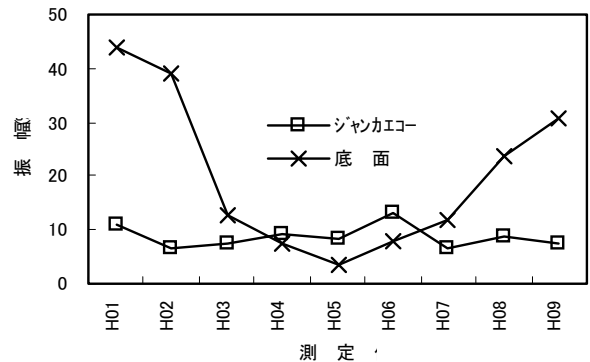


図55 深いジャンカ試験体エコー(水平方向測定)

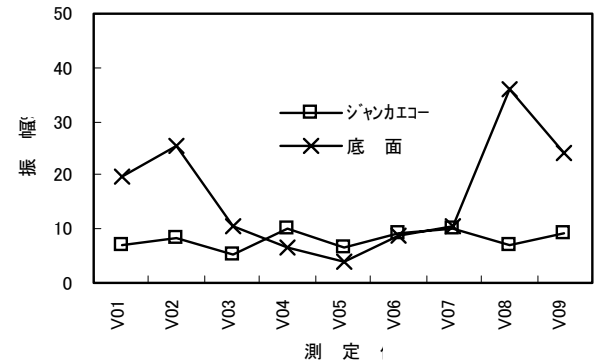


図56 深いジャンカ試験体エコー(鉛直方向測定)

一方、RC造の柱のジャンカの検出は、反射法(1探触子法)では困難であり、透過法(2探触子法)を適用する。

図57に示すようなRC造柱の模擬試験体で透過法(2探触子法)を適用して、ジャンカの検出を試みた。

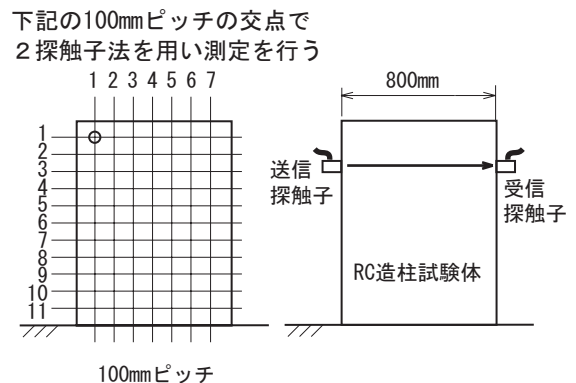


図57 RC造の柱でのジャンカ検出

その結果を図58に示す。

図に示すように、ほぼジャンカの位置に対応して、超音波透過パルスの大きさの減少・ビーム路程の増大が確認された。

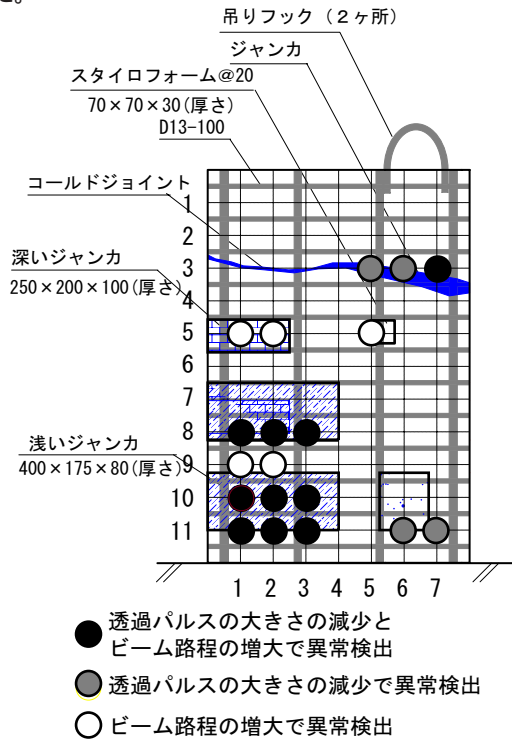


図58 浅いジャンカ試験体エコー(水平方向測定)

反射法(1探触子法)で、底面エコーの消失でジャンカの存在を検出する場合、鉄筋の存在をジャンカの存在と誤る場合がある。

その実例を図59～図62に示す。この4点は厚さ180mm程度の壁の近接した測定点で、図に示すように、鉄筋の近傍の測定では、浅いジャンカが存在する場合と同様な結果となった。

D13の重ね継手の場合は深さ50mm程度の鉄筋からと思われ

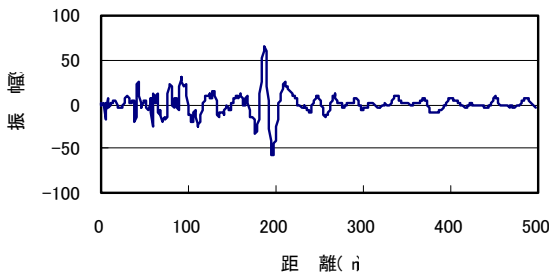


図59 ジャンカの無い壁の超音波波形

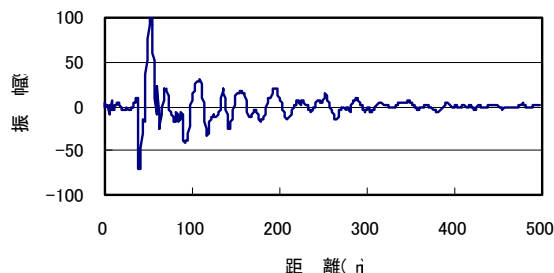


図60 壁鉄筋部の超音波波形(D13重ね継手)

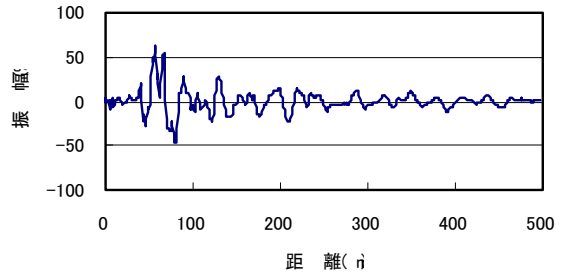


図61 壁鉄筋部の超音波波形(D13)

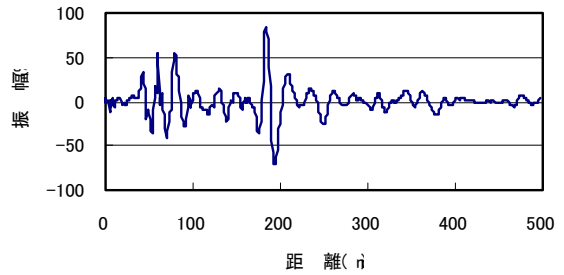


図62 ジャンカの無い壁の超音波波形

れるエコーが検出されたが、D13の鉄筋が1本しか入っていない場合は鉄筋からと思われるエコーは確認されなかった。

このように重ね継手が検出できても単独の鉄筋が検出できない場合は、鉄筋径が太い場合でも生じる。

測定点をさらに移動すると図61のように明確に底面エコーが確認される。

このような場合は、超音波測定法によって、鉄筋の存在を誤ってジャンカの存在と判定することになる。

#### (7) コンクリート内の埋設物検出(とくに非金属)

前述したように、反射法(1探触子法)で、浅いジャンカの存在や浅い鉄筋の存在によってエコーが検出される場合がある。

しかし、そのエコーだけを抽出することは多くの場合うまくできない。その理由は、ノイズ(骨材等からの反射や他の部分からのエコー)と多くの場合区分することができないためである。

### 5. 現状の超音波測定の適用例

現状でのコンクリート構造への超音波測定の適用をどのように行うのか一例を以下に述べる。

具体的には、RC造の高層の建物で、天井にひび割れがあり、このひび割れがコンクリートの収縮によるひび割れ(構造的には問題ない)か施工上の手抜き等により発生したひび割れかを判定する情報を得るために超音波測定を適用した例である。

適用した超音波測定法は、コンクリートの版厚測定に1探触子法、ひび割れの測定に2探触子法とした。

#### (1) 予備調査

##### (a) ひび割れの簡易的な状況確認

天井のひび割れの形状・分布の簡易的な図をもらう。

##### (b) 図面の確認

設計図書から当該部分の鉄筋サイズ・配筋を確認する。

#### (2) 現地調査

##### (a) ひび割れの目視測定

天井のひび割れの形状・分布を目視で測定し、その長さ・開口幅を測定する。図63にひび割れの形状と、超音波法の適用箇所を示す。

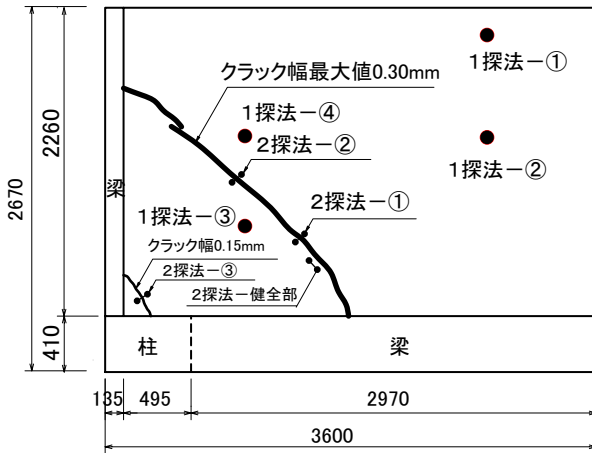


図63 ひび割れと超音波測定位置

(b) RCレーダによる配筋確認

RCレーダで鉄筋の配筋を確認する。RCレーダによって推定された鉄筋の分布を図64に示す。

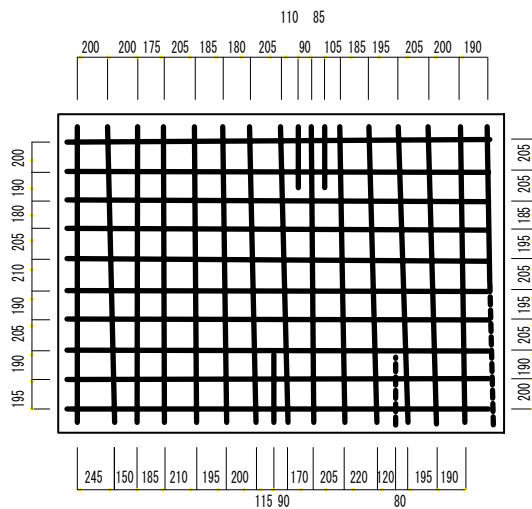


図64 RCレーダで推定された配筋

(c) 超音波による版厚測定

RCレーダで確認にした鉄筋位置を避けて、反射法(1探触子法)によるコンクリート版厚の測定を行う。図65及び図66に版厚測定の超音波波形を示す。鉄筋位置を避け測定を行っているが、版厚測定のための底面エコー以外のエコーがかなり検出されている。

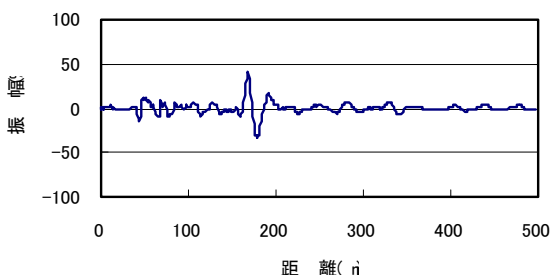


図65 反射法による測定結果(版厚168mm)

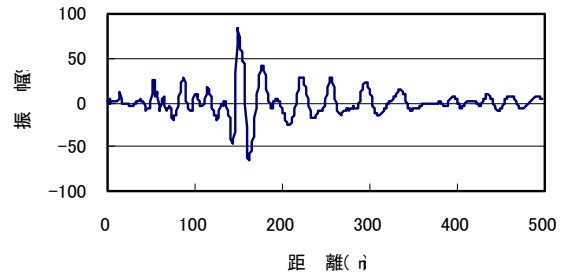


図66 反射法による測定結果(版厚149mm)

(d) 超音波によるひび割れ測定

ひび割れを挟んで同一面の透過法(2探触子法)によりひび割れ深さの推定や超音波波形データの採取を行う。

測定結果を図67及び図68に示す。健全部では超音波が十分透過し、種々の経路で到達した超音波波形が確認されたが、ひび割れ部ではひび割れが貫通しているためほとんど超音波が伝搬しなかった。

なお、ひび割れの測定では鉄筋の影響は、版厚測定の場合ほどなかった。

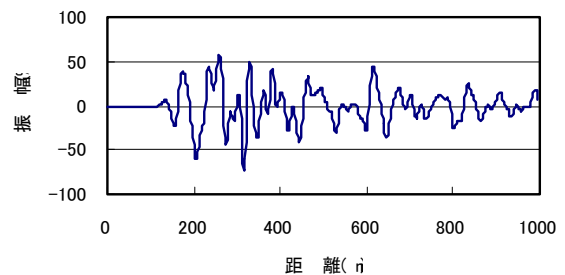


図67 同一面透過法測定結果(健全部)

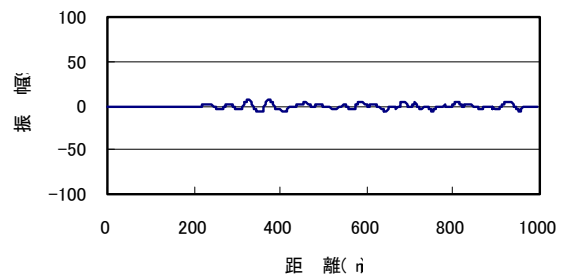


図68 同一面透過法測定結果(ひび割れ部)

(3) 調査結果の判断

ひび割れの開口幅が0.3mm以下で、RCレーダによる配筋確認でほぼ設計図通りの配筋で、コンクリート版厚がほぼ設計図通りである場合は、構造上問題がない収縮ひび割れと推定する。

今回の調査結果はこの条件を満たし、また、ひび割れのパターンも、床が大きくひずんだ場合のパターンと異なることから収縮ひび割れと考えられる。

なお、構造上問題がない収縮ひび割れと推定する条件が欠ける場合は、天井のたわみの測定を行い、鉄筋のX線透過試験で鉄筋径の確認も行う。

(4) 補修後の確認

ひび割れの開口幅が0.3mm以下では、構造上問題がない

収縮ひび割れと推定され、通常は補修が行われないが、何らかの理由で補修が実施された場合は、ひび割れの補修が有効に行われたかの確認を補修部を挟んで同一面の透過法(2探触子法)を適用する。

適正な補修が行われた場合、図67よりは振幅が多少小さくなるが同様の超音波波形が得られる。

### 6. コンクリート構造物への新たな超音波法の適用

コンクリート構造物への超音波測定は、何らかの問題が生じた場合適用されてきた。それに対して、新たな超音波測定法は建築構造物の損傷検出に適用され、図69に示すような、常時モニタリングが行われるシステムである。

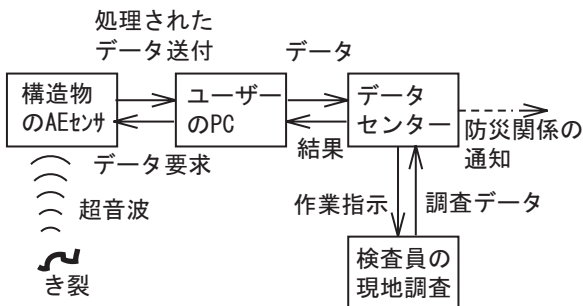


図69 A EによるRC造モニタリングシステム

建築構造物の場合、通常損傷が生じる箇所は、ある程度想定されるため、その近傍に超音波センサを取付け、き裂の発生や進展に伴う超音波を検出することにより、損傷の検出や建物の健全性の評価が行う。これは、アコースティックエミッション法(AE法)といわれる方法である。

従来のAE法と異なるのは、ひび割れ発生位置の特定や複雑な信号処理を止め(コンクリートで超音波はそれほど遠距離まで伝搬しないことからセンサ周辺数m範囲のAE信号を拾う)、測定システムを低価格にすることである。

そのため、図70に示すように、センサ自体がデータ処理や保持能力あるいは外部との通信能力を持ち、センサで

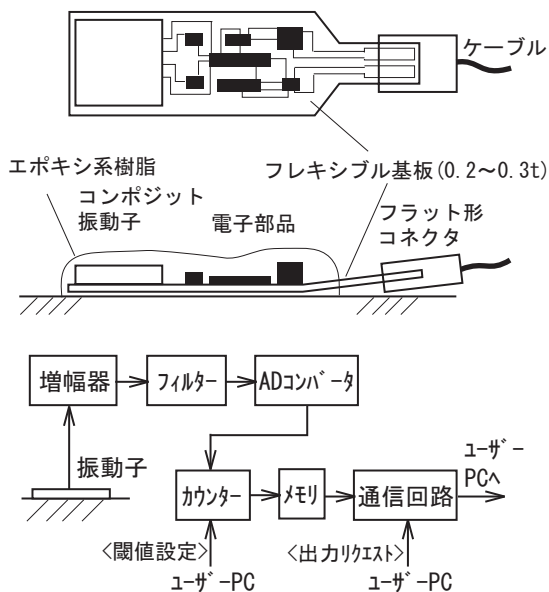


図70 スマートAEセンサ

処理された単位時間のAE信号発生度数のデータと簡易的な合否判定データ(3段階~5段階)を外部に出力するセンサである。

そのデータを、他の用途に使用しているパソコンの空き時間を利用して処理を行い、インターネット経由でデータをセンターに集め、必要に応じて検査員による現地調査を行うことである。

この現地調査では、目視で損傷の詳細を観察・寸法測定を行い、RCレーダやX線透過試験で配筋状態を確認したり、従来の超音波測定法によりひび割れの深さ測定・コンクリート版厚の測定・ジャンカ検出、ドリルによる穴あけで直接内部の観察等を行い損傷の最終的な評価を行う。

このシステムによって、必要な人員以外の人手をかせず建物の安全性を長期にわたり確認することができるものと期待される。このシステムのイメージを図71に示す。

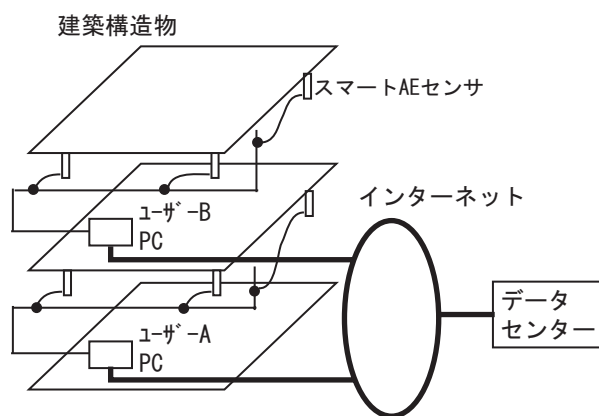


図71 建物の損傷検出システムのイメージ図

### 7. まとめ

コンクリート構造物への超音波測定は現場サイドから要求が多いが、それに対して十分に答えているとはいえない。

それは、コンクリートという複合材料で超音波的性質もかなりばらつくものを対象としているからである。

超音波は主にセメントペーストを伝搬するが、コンクリート構造は骨材の隙間をセメントペーストが埋めているような状態であるため超音波は素直に伝搬されない。

しかし、おおよその測定と割り切り、次の条件で測定を行うと多くの成果が得られる。

- (1) 低周波(パルスを用いた超音波測定では100kHz~200kHzの周波数が有効なこと多い)というだけでなく周波数帯域が広い装置を用いる。
- (2) 探触子の振動子径は骨材より十分に大きくする。
- (3) 予め鉄筋位置を測定してから超音波測定を行う。
- (4) 反射法での測定より透過法の方が有効なデータをノイズと区分することが容易である。
- (5) 信号処理では有効なデータを得られない場合もある。
- (6) コア抜き試験体の圧縮試験データと対応を確認する。

### 参考文献

- 1) 日本建築学会材料施工委員会, コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル, 28-29 70-71, 1983