

# ばらつきを考慮したコンクリート打撃音の振幅の評価

Variation of Impact Acoustic Amplitude Due to Defects of Concrete

伊東良浩\*・魚本健人\*

Yoshihiro ITO and Taketo UOMOTO

## 1. はじめに

コンクリートの打撃音により構造物の欠陥を判断する場合、その振幅は最も明瞭な判断材料の一つである。例えばコンクリート表面を打撃しながら連続的に測定を行うとすると、一般的に剝離あるいは浅部に空隙があるような箇所では被打撃箇所が大きく振動し、非常に大きな音が発生するので欠陥の存在が容易に予測される。そこで、打撃音の周波数特性や減衰特性などを利用したより高度な判定を行う前段階で、この振幅値を用いてあらかじめ異常な箇所を抽出できれば、より効率的な検査が可能であると考えられる。

しかし、剝離位置などで発生する打撃音の最大振幅は、打撃位置や剝離領域の大きさ、深さなどに影響されてかなりばらつく。また同時に、健全な部分においてもばらつきがあるので、両者を単純に区別することができない。

本研究ではこのようなことから、統計的な手法により打撃音の振幅のばらつきについて考察し、コンクリートの異常を判定する方法について検討した。

## 2. 打撃音のばらつき

打撃音のばらつきには種々の要因が考えられるが、本研究では対象とする構造の寸法や支持条件によって生じる振幅の差異については除外して考えるものとする。

図1の概念図は同一地点で複数回打撃を繰り返しながら、連続的に打撃音を測定した場合を考えたものである。図に示すように剝離箇所があると振幅が大きくなることが予測されるが、その振幅は一定でなく剝離の程度の違い、また打撃位置が剝離領域内のどの位置かによって振幅が異なることが考えられる(異常にとまうばらつき： $V_d$ )。次に、同一地点において測定を繰り返した場合を考えると、コン

クリートが材質の異なる粗骨材とモルタルマトリックスで構成され局部的に不均質であることからばらつきが生じると考えられる(コンクリートのマイクロ不均質性によるばらつき： $V_p$ )。さらに、同一地点で複数回の測定を行い平均振幅を求めた場合を考えても、コンクリート表面の性状の違いやコンクリートが構造物内のすべての位置で同一の材料物性を有しているとは考えられないので、健全な領域でも測定点ごとに生じるばらつきがある(コンクリートのマクロ不均質性によるばらつき： $V_a$ )。さらにこれに加えて打撃方法、測定方法に起因するばらつきが考えられる(測定方法によるばらつき： $V_m$ )。実際に構造物を打撃した場合には、打撃音振幅はこれらのばらつきをすべて含んだ状態で測定され、打撃音振幅のばらつき  $V$  は概念的に式(1)のような形で表される。

$$V = f(V_e, V_p, V_a, V_m) \quad (1)$$

## 3. コンクリート供試体での打撃音のばらつき

比較的管理されたコンクリートにおいて、できるだけ同一箇所に同一エネルギーで打撃を加えた場合に、どの程度ばらつきが生じ得るかを検討するため、供試体による予備実験を行った。実験では、図2に示すように10×10×40 cmの供試体を標準として、その厚さを7 cm、3 cmと変化させ打撃音を測定した。打撃は、供試体中央部に鉛直上方の一定の高さ(5 cm)から銅球を落下させて、各厚さごとに100回ずつ測定した。供試体コンクリートの配合および物性は表1に示すとおりである。

表2に各厚さごとの波形の最大振幅の統計諸量を示す。コンクリート厚さが小さくなると相対的に打撃エネルギーが大きくなり最大振幅が大きくなる傾向を示し、同時に標準偏差も大きくなっている。しかし、これらを変動係数で比較するとその値は0.05~0.09程度であり、供試体によ

\*東京大学生産技術研究所 第5部

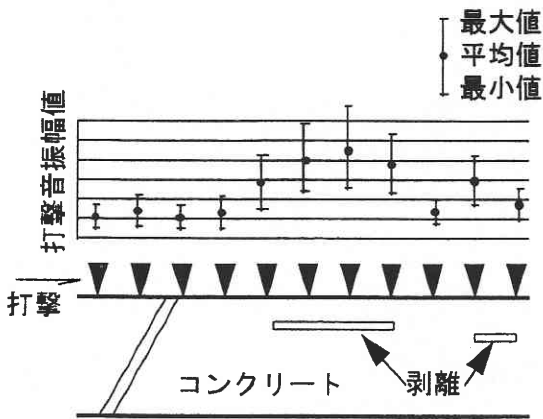


図1 打撃音の振幅変化の概念図

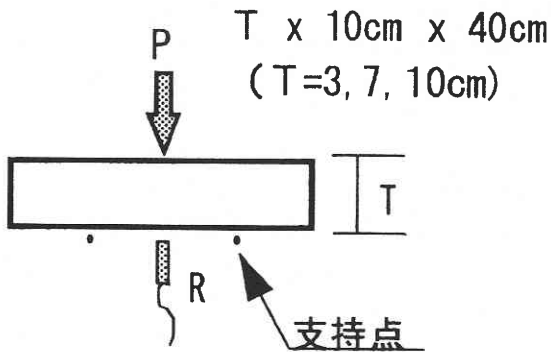


図2 測定概要

表1 供試体コンクリート

W/C %	粗骨材最大寸法 mm	密度 g/cm <sup>3</sup>	圧縮強度 kgf/cm <sup>3</sup>	弾性波速度 km/s
60	20	2.35	381	4.3

てそれほど大きな差異はなく比較的小さなばらつきであった。

図3は厚さが10cmの場合の測定結果を平均値で無次元化し、正規確率紙にプロットしたものである。測定値のばらつきが正規分布している場合、これを正規確率紙にプロットすると測定値は直線分布を示すことから、この振幅のばらつきがほぼ正規分布をしていることがわかる。ここでこのデータを直線回帰したときの勾配の逆数はおおよそ変動係数と同じであり、勾配が大きくなればばらつきが小さいことになる。

以上の結果から、供試体コンクリートのように比較的管

表2 打撃音最大振幅の統計諸量

供試体厚	10cm	7cm	3cm
平均値 (mV)	118.7	225.7	474.3
最大値 (mV)	143.8	270.3	557.1
最小値 (mV)	103.1	200.1	389.5
標準偏差 (mV)	7.7	11.8	41.6
変動係数	0.07	0.05	0.09

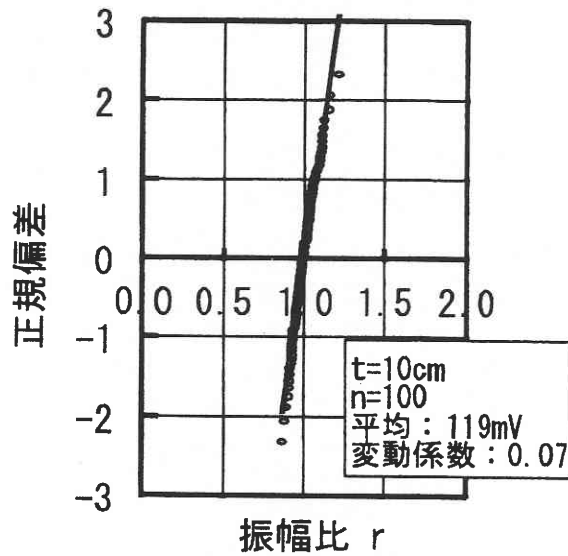


図3 供試体コンクリートでのばらつき

理されたコンクリートでは、打撃音の最大振幅はおおよそ平均値の10%程度以下の変動を持って正規分布することがわかった。

#### 4. 実構造物における打撃音の測定

実構造物において打撃音のばらつきの程度を確認するため、コンクリート建築物の屋上高欄で測定を行った。

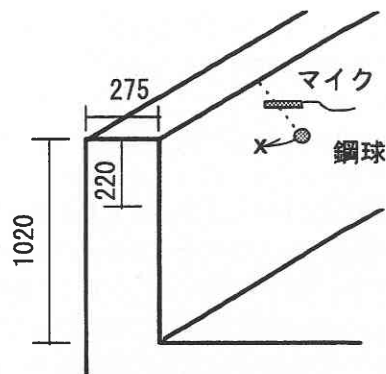


図4 コンクリート壁での測定

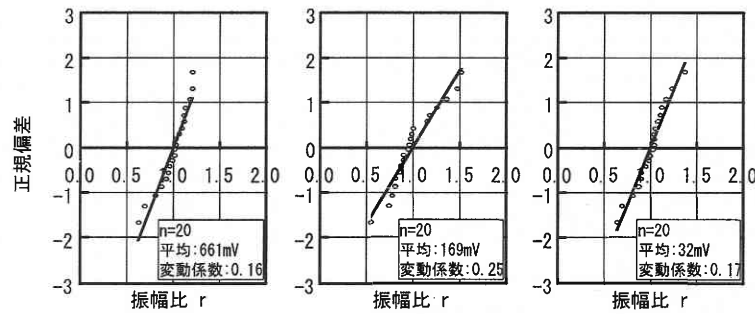


図5 同一箇所を打撃した場合の振幅のばらつきの例

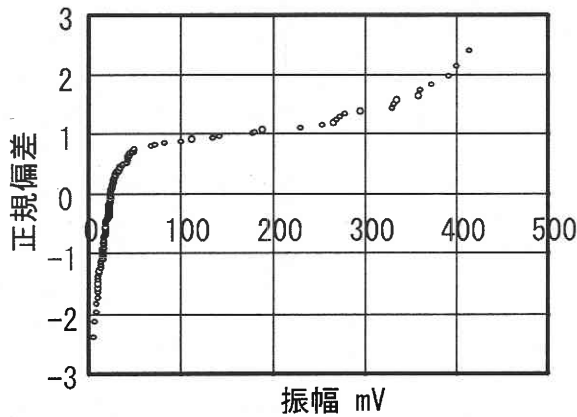


図6 全打撃音の振幅のばらつき

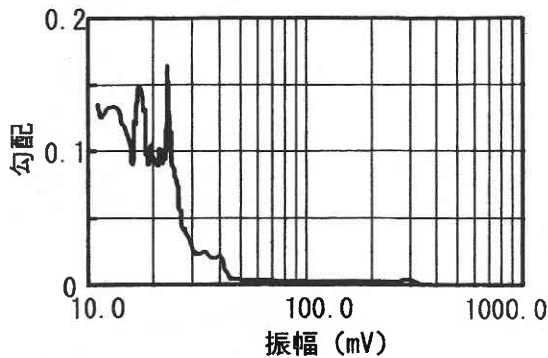


図7 勾配の変化

図4は打撃音の測定状況を示したもので、図に示すように銅球を一定距離から振り子式にコンクリート表面に衝突させて、できるだけ打撃エネルギーが一定になるようにした。

まず、いくつかの点において20回ずつ打撃を繰り返し振幅のばらつきを確認したところ、図5の例に示すような結果が得られた。いずれの場合も、振幅の大きさの違いにあまり関係なく測定結果はほぼ直線分布をしており、ばらつきが正規分布をしていることがわかる。また、それぞれの変動係数は0.13~0.29の値が得られたが、この値は、供試

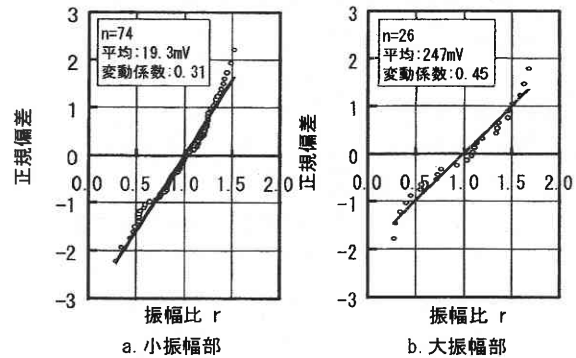


図8 小振幅部と大振幅部での振幅のばらつきの違い

体実験で得られた変動係数に比べて大きいものとなった。これは、打撃方法の違いや屋外での測定であることによるノイズの影響などによって、ばらつきが供試体での実験に比べて大きくなっていることによると考えられる。

次に、長さ20 mの区間を50 cmピッチで各箇所3回ずつ打撃し振幅を測定した結果を正規確率紙に示したものが図6である。図より、振幅の分布は明らかに直線状でなく、振幅が30~50 mVの位置で変曲点が存在し、ばらつきは正規分布をしていないことがわかる。これは、測定点の一部に剝離などの異常箇所が存在することによって大振幅のデータが測定されたため、直感的には変曲点以降のデータが得られた箇所に異常があると予測される。

そこで図6の点列をスムージング処理し、勾配の変化を求めたものが図7である。この図に基づいて勾配の大きな小振幅部のデータ(振幅が30mV以下のもの)と勾配の小さな大振幅部のデータ(振幅が50 mV以上のもの)をそれぞれ抽出し、それらを再度母集団として正規確率紙にプロットしたものが図8である。両者とも点列はほぼ直線上であり、それぞれのばらつきはおよそ正規分布していると考えられる。しかし、回帰直線の勾配は大振幅部の方が小さく、測定結果のばらつきが小振幅部に比べて大きいことがわかる。これは、通常に起こりうるばらつきに加えて、大振幅を生じさせている原因が一定のものでないことによ

研究速報

表3 ばらつき要因と変動係数

測定対象	ばらつきの要因	変動係数
供試体コンクリート	Vp	0.05~0.09
実構造物同一地点	Vp, Vm	0.13~0.29
実構造物小振幅箇所	Vp, Vm, Va	0.31
実構造物大振幅箇所	Vp, Vm, Va, Ve	0.45

備考 Vp:コンクリートの局所的な不均質性によるばらつき  
Vm:打撃、測定方法によるばらつき  
Va:コンクリートのマクロな不均質性によるばらつき  
Ve:コンクリートの異常によるばらつき

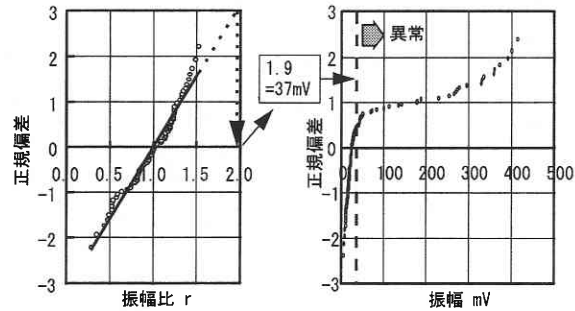


図9 振幅による異常箇所の判定方法

るばらつきが含まれているためであると考えられる。例えば構造内いくつかの剝離箇所が存在しているとしても、その大きさや深さはそれぞれによって異なり、これに対する打撃音振幅が一定とは考えられないこと、また偶然に打撃する位置が剝離部分の中央部であるか端部であるかなどによって、振幅は大きく変化する。

ここで、実構造物での測定結果と供試体での結果をまとめると、供試体での実験では測定データの変動係数は0.05~0.09であったのに対して、実構造物の同一点では0.13~0.29、健全と思われる小振幅箇所では0.31程度、異常と考えられる大振幅箇所では0.45という変動係数となり、ばらつきが増大していることがわかる。

以上の結果をまとめると表3のとおりであり、ばらつきの要因が増えるにしたがって変動係数が増加していきことがわかる。

5. 振幅値による異常箇所の判定

これまでに述べたように、多数の測定点における振幅測定値の中で、異常箇所での打撃音の振幅は健全部に比べて振幅が大きいだけでなく、そのばらつきの程度が大きくなる。逆に健全な部分でも生じうるばらつきの程度が把握できるとすれば、これに基づいて判定基準値を決定することが可能である。そこで、図8aに示した小振幅部の振幅範囲を健全箇所でも起こりうるばらつきによると考えれば、これを用いて判定基準値を決定することが可能である。

この手順としては図9に示すように、データのうち小振幅の直線部分のみを取り出して、再度これを母集団として

整理する。このとき、ばらつきの限界値として標準偏差の3倍の値である $3\sigma$ を用いるとすれば、そのときの振幅比は約1.9であり(振幅では37mV)、これをしきい値として全測定結果に適用することによって異常箇所を判定することが可能である。ただし、これは同一の振幅が生じるべき部分についてのみ適用できる方法であり、構造が異なるような場合には再度その構造物において判定基準値を設定すべきである。

6. ま と め

本研究の結果、振幅のばらつきは健全なコンクリートであればほぼ正規分布し、不健全な部分を含んでいればそのばらつきの程度が異なるため、測定結果は正規分布しないことが明らかとなった。また、健全な部分でのばらつきの程度を考慮して、異常値の判定基準を設定する方法について述べた。なお、本研究ではコンクリート表面の劣化など振幅の低下をもたらすような損傷の影響については考慮していないので、今後これらについて考慮する必要があると考えられる。

(1995年11月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 広野進:コンクリートの非破壊検査方法, コンクリート工学, Vol. 27, No. 3, pp 53-58, 1989. 3.
- 2) 伊東良浩・魚本健人:コンクリートのひびわれ深さが打撃音に及ぼす影響, 生産研究, VOL. 47, NO. 5, pp 35-38, 1995. 5.