

## 複数経路での弾性波速度の測定によるコンクリート内部欠陥探査方法の検討

STUDY ON METHOD FOR DEFECT INSPECTION OF CONCRETE STRUCTURES BY  
MEASURING THE VELOCITY OF MULTIPLE PATHWAYS OF ELASTIC WAVE

リック(株) 岩野 聡史, 實藤 大夫  
大成建設(株) 堀口 賢一, 梁 俊  
独立行政法人土木研究所 森濱 和正

コンクリート内部のジャンカについて、柱部材と壁部材を模擬した供試体での探査方法を検討した。その結果、測定される弾性波速度は、伝搬経路中にジャンカが存在すると低下すること、配筋状況や高さ位置によって変化することが確認された。これから、配筋状況や高さ位置を考慮して測定値を比較すれば、コンクリート内部の各測定位置でのジャンカの有無を判断でき、ジャンカの平面位置と深さ位置を探査できることが確認された。

キーワード：衝撃弾性波法、弾性波速度、透過法、内部欠陥探査、ジャンカ

### 1. はじめに

コンクリート内部に欠陥が存在する場合には、非破壊試験により欠陥の範囲を把握できれば、補修の要否や範囲等の判断に有効な情報になると考えられる。非破壊試験方法の1つに衝撃弾性波法があるが、この手法には、短時間での測定が可能である、使用する弾性波の波長が長く、部材厚さの厚いコンクリートでの適用が可能であるといった特長がある。そして、この衝撃弾性波法によるコンクリート内部の欠陥探査方法には、多重反射法によりコンクリート表面から入力した弾性波の反射深さを測定して、欠陥の有無や位置を探査する方法がある。しかし、内部欠陥がジャンカの場合での多重反射法による測定値は、弾性波のジャンカ表面での反射による異常ではなく、ジャンカの影響により弾性波の往復時間が長くなる異常となることから<sup>1)</sup>、ジャンカの有無や平面位置を把握できても、ジャンカ表面までの深さを把握できないという課題がある。また、多重反射法で弾性波の反射深さを測定できる構造物は版形状であり、幅と長さが、弾性波が往復する深さに対して十分に長いことが適用条件となる<sup>2)</sup>。これから、柱形状の構造物で多重反射法を適用すると、全測定点で異常となり、内部欠陥探査が出来ないという課題がある。

そこで今回の実験では、衝撃弾性波法による透過法での弾性波速度を複数経路で測定することにより、ジャンカの平面位置、深さ位置を推定する方法について検討した。柱部材を想定したジャンカ部を含む供試体と壁部材を想定したジャンカ部を含む供試体で実験をしたので、この結果について報告する。

### 2. 柱部材での測定

#### 2・1 測定方法

供試体の形状、ジャンカ位置を図1、写真1に示す。供試体は鉄筋が含まれる供試体である。測定状況を写真2に示す。透過法により弾性波の伝搬時間差を測定し、入力点と受信点の最短距離から弾性波速度を測定した。写真1、図2のように左下の前面を原点に、長さ方向をX、幅方向をY、高さ方向をZとした。弾性波速度の測定方向は長さ方向Xと幅方向Yの2方向とした。測定位置はX方向、Y方向とも50mm間隔で設定し、Z方向はジャンカ部で25mm間隔、その他は50mm間隔で設定した。

各測定位置を伝搬するX方向の弾性波速度と、Y方向の弾性波速度とを比較して、速い方の弾性波速度を各測定位置での評価値として採用した。これは、例えば、評価対象位置が健全であるが、Y方向の弾性波の伝搬経路中に欠陥が存在すれば、Y方向の弾性波速度は低下し、X方向の弾性波速度は健全部の弾性波速度となる。これに対して、評価対象位置に欠陥が存在すれば、両方向の弾性波速度が低下す

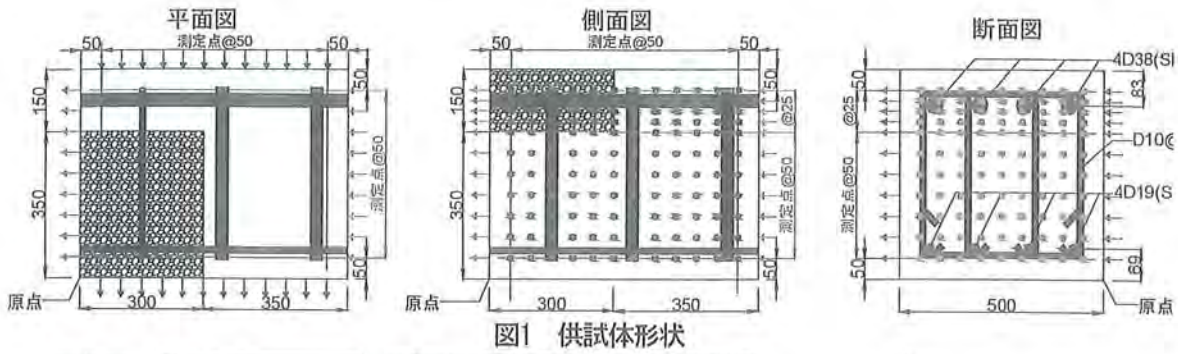


図1 供試体形状



写真1 供試体外観状況



写真2 測定状況

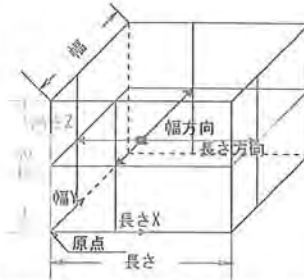


図2 評価値の算出方法 (●：測定位置)

ることとなる。これらから、両方向の弾性波速度の平均値等では、他測定点でのジャンカの影響により、欠陥位置を正確に判断できないものと考えられることから、両方向の弾性波速度の最大値を採用したものである。

### 2・2 測定結果

X方向の弾性波速度の測定結果の例を図3に示す。図3(a)はZ=425mmの配筋位置でのジャンカ部(Y=150mm)と健全部(Y=400mm)での受信波形を、図3(b)は鉄筋が配置されていないZ=375mmでのジャンカ部(Y=150mm)と健全部(Y=400mm)での受信波形を示した。受信波形での振動の開始時間が弾性波の伝搬時間差であるが、ジャンカ部と健全部で比較をすると、ジャンカ部では測定される速度が遅くなることが確認される。この原因は、ジャンカの影響によるコンクリートの弾性係数の低下、弾性波の伝搬経路長が入力点と受信点の最短距離よりも長くなること、これらにより伝搬時間差が長く変化して、測定される弾性波速度が遅くなったものと考えられる。また、健全部、ジャンカ部での測定結果を、配筋状況で比較すると、鉄筋が存在することにより、測定される弾性波速度は、健全部、ジャンカ部ともに速く変化することが確認される。

ジャンカの平面位置、深さ位置を推定することを目的として、各測定位置の評価値をコンター表示で示した結果を図4に示す。図4は鉄筋供試体の展開図であり、図4の左側面図は、例えばZ=50mm、Y=50mmでの評価値はX=50mm~600mmで12個あるが、これら12個の平均値をZ=50mm、Y=50mmの評価値として示した図である。また、図4の平面図は、同様に、例えばX=50mm、Y=50mmのZ=50mm~450mmでの9個の平均値をX=50mm、Y=50mmの評価値として示した図である。図4で

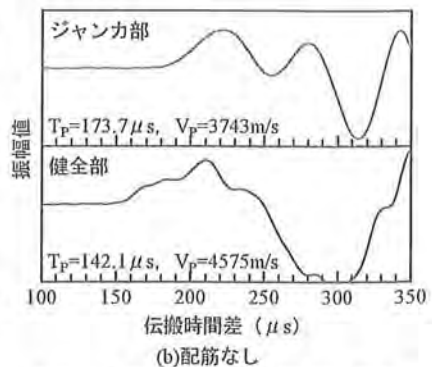
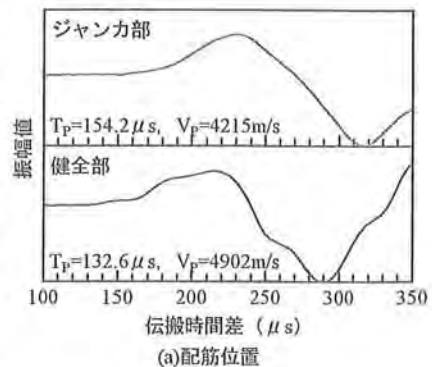


図3 各測定点での受信波形の例

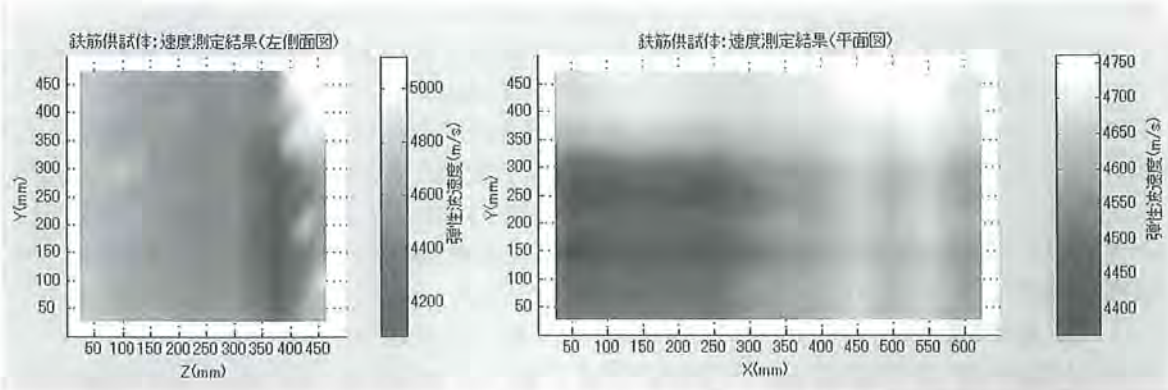


図4 各測定位置での弾性波速度による評価値の比較結果（左：左側面図，右：平面図）

評価値が黒く表示された測定位置は測定された弾性波速度がX方向，Y方向ともに低下した点である。図4で評価値が黒く表示された測定位置がジャンカ部であると判断し，ジャンカ部の範囲を推定して，図1に示した実際のジャンカの位置と比較すると，平面図は実際のジャンカの位置と一致する結果であった。これに対して左側面図は，高さ位置375mmでは実際のジャンカの位置よりも広い範囲が黒く表示され，一方，高さ位置450mmではジャンカ部での弾性波速度の低下が不明瞭な結果となった。

これらの原因は，鉄筋により測定される弾性波速度が速く変化することであると考えられる。図3の結果のとおり，ジャンカ部では健全部より測定される弾性波速度が遅くなるが，配筋位置では鉄筋が無い位置よりも測定される弾性波速度が速くなる。図4の左側面図のコンター表示の範囲は，最大値は配筋位置の健全部で測定された弾性波速度，最小値は鉄筋が無い位置のジャンカ部で測定された弾性波速度となるが，この条件では，配筋位置のジャンカ部と鉄筋が無い位置の健全部で測定された弾性波速度の差が小さくなり，ジャンカ位置が明瞭に表示されなかったものである。

配筋状況によるこの影響を除去するには，配筋状況により評価値を補正することが有効であると考えた。そこで，本供試体では配筋状況が高さ位置によって異なることから，同じ高さ位置毎に評価値の平均値を求め，各評価値をこの平均値で除することにより比率を求めた。この比率のコンター表示の左側面図と平面図を図5に示す。なお，図5のコンター表示の範囲は，本法の測定精度が2%であることを考慮して<sup>3)</sup>，コンター表示の最大値を1.04，最小値を0.96とし，比率1.04以上を1.04，比率0.96以下を0.96として表示した。測定結果より，比率が0.98以下となる位置をジャンカ部と判断すれば，左側面図と平面図から，ジャンカの平面位置，深さ位置を判断できる結果となった。

以上の結果から，ジャンカの平面位置，深さ位置をより正確に判断するには，配筋状況を考慮して評価値を補正することが有効であると考えられる。

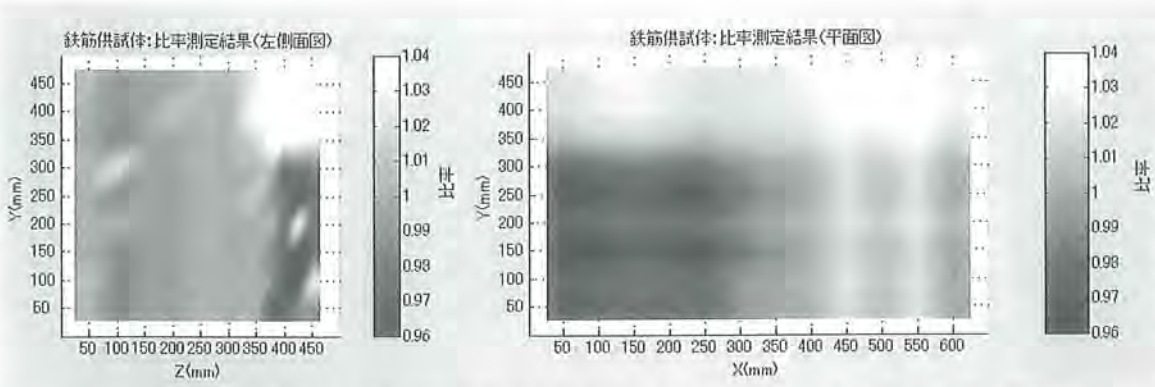


図5 判定基準値を設定した各測定位置での評価値の比較結果（左：左側面図，右：平面図）

3. 壁部材での測定

3・1 直交する2方向での測定

3・1・1 測定方法

供試体の寸法、ジャンカ位置および測定範囲を図6に示す。供試体はボックスカルバートを模擬した供試体で、この供試体の長さ4100mm×幅(厚さ)600mmの壁部に200mm×100mmのジャンカを模擬したポーラスコンクリートが2個埋設されている。この供試体において、柱部材での測定と同様に、図7に示すとおり、弾性波の伝搬経路長が600mmとなる幅方向と伝搬経路長が4100mmとなる長さ方向で弾性波速度を測定した。

3・1・2 測定結果

幅方向と長さ方向での弾性波速度の測定結果を図8に示す。ジャンカ部と健全部での測定結果を比較すると、幅方向ではジャンカ部で測定される弾性波速度が大きく低下したが、伝搬経路長が4100mmの長さ方向では、ジャンカ部であっても健全部と同等の弾性波速度が測定される結果となった。ジャンカ部ではコンクリートの弾性係数の低下、弾性波の伝搬経路が入力点と受信点の最短距離よりも長くなること、これらにより測定される弾性波速度が遅くなると考えられる。これから、伝搬経路長に対してジャンカの寸法が小さければ、伝搬経路中で弾性波速度が遅くなる経路の割合は低くなり、測定される弾性波速度は大きく低下しなかったとも考えられる。以上の結果から、壁部材では、直交する2方向での測定により、ジャンカの平面位置、深さ位置を探索することは困難であると考えられる。

3・2 斜め透過方法による測定

3・2・1 測定方法

「3・1」での結果から、図9に示すとおり、幅方向での測定のみによるジャンカの平面位置、深さ位置の探索方法を検討した。ジャンカ部の周辺の長さ1000mm×高さ400mmを測定範囲とし、長さ方向

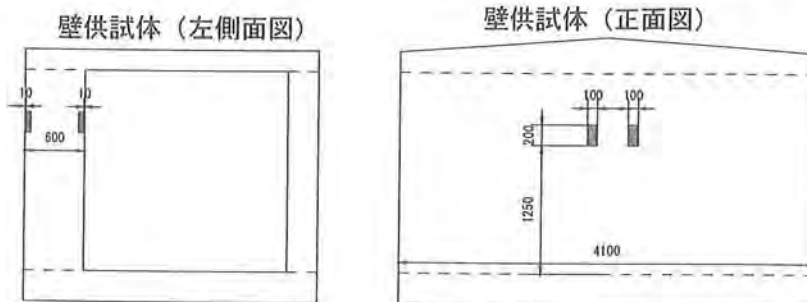


図6 壁供試体の欠陥状況および測定範囲 (■：ポーラスコンクリート)

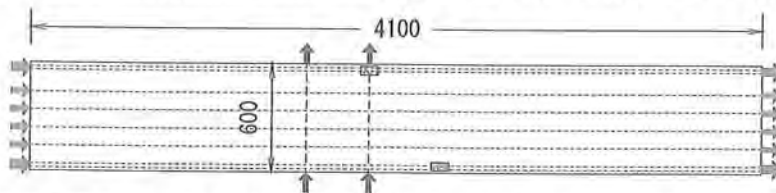


図7 壁供試体での幅方向と長さ方向での弾性波速度の測定状況 (■：ポーラスコンクリート)

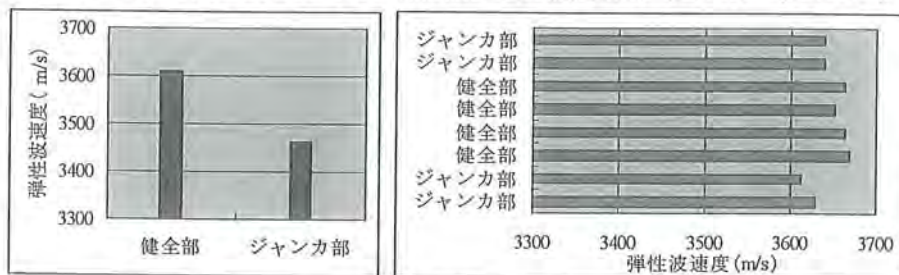


図8 壁供試体での測定方法の検討ための予備測定の結果

に100mm 間隔で11 点の測定点、高さ方向に50mm、100mm 間隔で7 点の測定点を設定した。弾性波の入力点と受信点の設定方法および評価値の算出方法を図10 に示す。1 つの入力点に対して、受信点は同じ高さ位置の11 点とした。各高さ位置において、測定位置として長さ100mm×幅50mm の枠（以下、評価セルという）を格子状に設定した。各評価セルでの評価値は、柱部材での測定結果を参考にして、各評価セル内を伝搬する全ての弾性波の速度を比較して、最も速い弾性波速度とした。

### 3・2・2 測定結果

各評価セルでの評価値をコンター表示で示した結果を図11 に示す。図11 は図4 と同様に左側面図と平面図で示した壁供試体の展開図である。図11 で評価値が黒く表示された評価セルは、評価セル内を伝搬する全ての弾性波の速度が低下したセルであり、ジャンカが存在すると推定される。図11 によりジャンカの範囲を推定すると、平面図では長さ位置250mm~350mm の幅位置25mm と長さ位置650mm の幅位置525mm~575mm で評価値が低下しており、この2 範囲がジャンカ部であると推定される。図9、図10 に示した実際のジャンカの位置と比較すると、平面図での推定結果は実際のジャンカの位置と一致する結果であった。これから、図11 の平面図より、ジャンカ部の平面位置（長さ位置と幅位置）を判断できることが確認された。これに対して左側面図では、高さ位置1280mm では全範囲において弾性波速度が低下し、また、高さ位置1580mm では全範囲において弾性波速度が速くなり、高さ位置によって測定される弾性波速度が大きく異なる結果であった。これから、図11 からジャンカ部の高さ位置を特定することは困難である。コンクリートは高さ位置によって品質が異なることから、高さ位置によって測定される弾性波速度が変化することが指摘されている<sup>4)</sup>。今回の測定結果はこの影響であると考えられる。

高さ位置によって測定される弾性波速度が異なる状況で、ジャンカ部の高さ位置を特定するために、

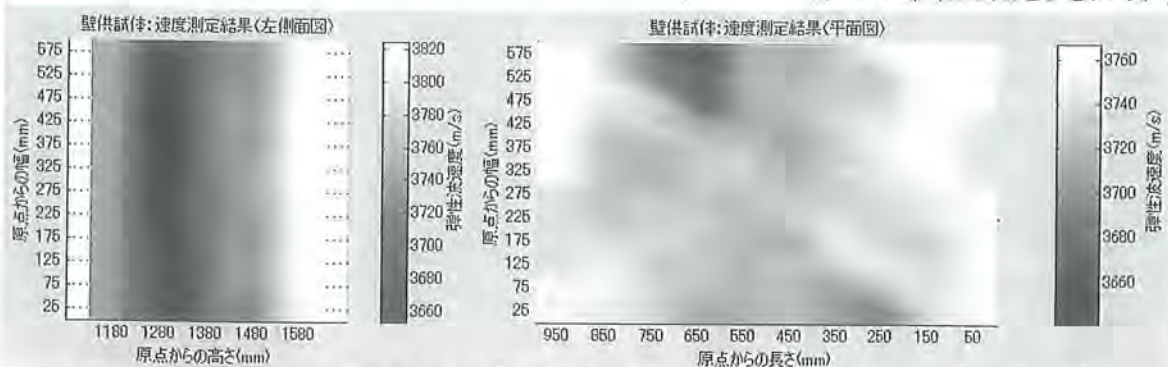
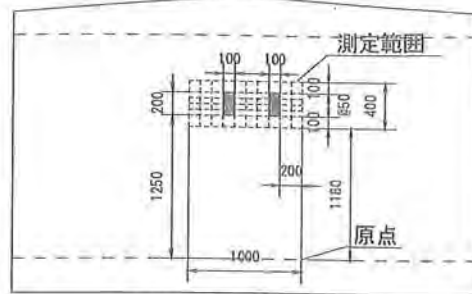


図11 各評価セルでの弾性波速度による評価値の比較結果（左：左側面図，右：平面図）

壁供試体（正面図）



壁供試体（平面図）



図9 壁供試体の欠陥状況および測定範囲（■：ポーラスコンクリート）

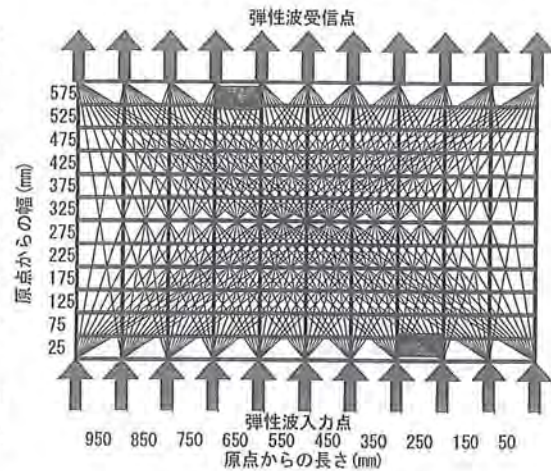


図10 評価値の算出方法

( | : 弾性波伝搬経路, □ : 評価セル)

各評価セルでの評価値のコンター表示（平面図）を高さ位置毎に示した。この結果を図 11 に示す。図 11 の高さ位置 1280mm～1480mm では、図 10 の平面図で評価値が低下してジャンカ部の平面位置であると判断した 2 範囲で評価値が低下していることが確認される。これに対して、高さ位置 1180mm と高さ位置 1580mm では評価値が大きく低下する評価セルは存在していない。以上のように、各評価セルでの評価値のコンター表示（平面図）を高さ位置毎に示し、ジャンカ部の平面位置であると判断した範囲の評価値が低下していることで判断すれば、ジャンカ部の高さ位置を特定できるものと考えられる。

4. まとめ

衝撃弾性波法による透過法での弾性波速度を複数経路で測定することにより、柱部材と壁部材を想定したジャンカ部を含む供試体で、このジャンカの平面位置、深さ位置を推定する方法について検討した。その結果、測定される弾性波速度は、伝搬経路中にジャンカが存在すると低下することが確認された。また、配筋状況や高さ位置によって変化することが確認された。これから、①コンクリート内部に測定位置を設定し、この測定位置を伝搬経路とする全弾性波の速度を比較して、最も速い弾性波速度を評価値とする。②この評価値を配筋状況や高さ位置を考慮して比較する。以上により、ジャンカの平面位置と深さ位置を探索できるものと考えられる。

参考文献：

- 1) 岩野聡史ほか：非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 衝撃弾性波 その1 衝撃弾性波法によるコンクリート表層部の欠陥探査，日本非破壊検査協会平成 15 年度春季大会講演概要集，pp.129-130，2003.5
- 2) 独立行政法人土木研究所，社団法人日本非破壊検査協会：非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の検査・点検マニュアル，pp.133，大成出版社，2010.
- 3) 岩野聡史ほか：非破壊試験によるコンクリート構造物の部材厚さの測定および変状の検出，(社)日本非破壊検査協会機関誌 Vol.58, No.4, pp.152-pp158, 2009.4
- 4) 森濱和正：非破壊試験による構造体コンクリート強度推定方法に関する検討—超音波法（土研法の提案）—，日本非破壊検査協会シンポジウム：コンクリート構造物の非破壊検査論文集（Vol.3），pp.111-120, 2009.8

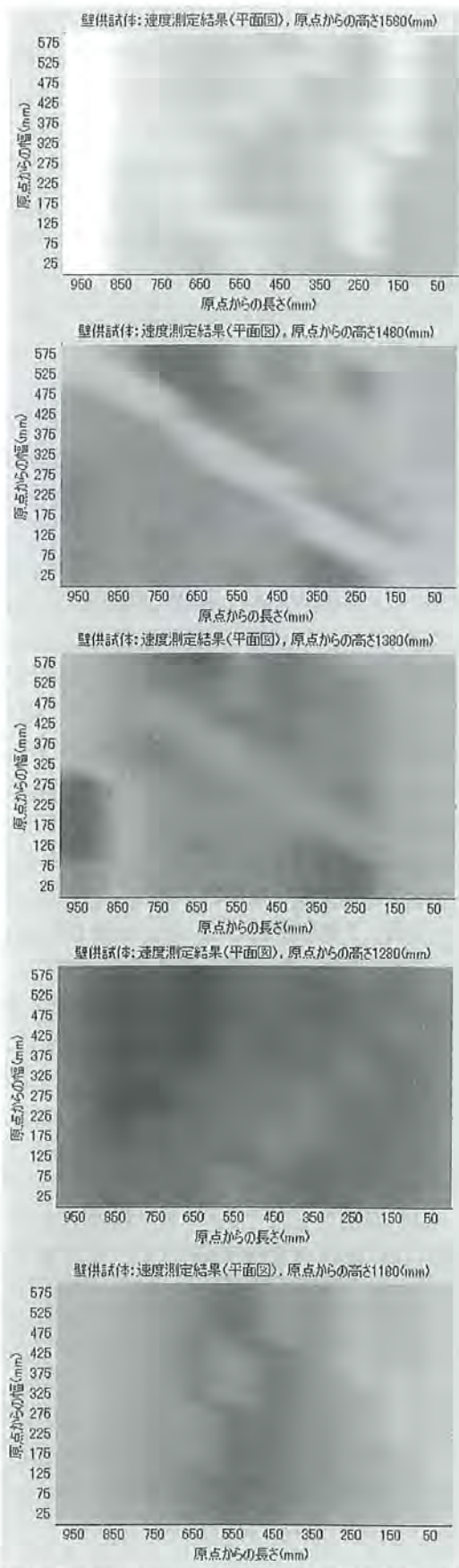


図12 各高さ位置，評価セルでの評価値の比較