

ピン接合部の接触圧に対する考察

三木 千寿¹・鈴木 学²・大橋 治³・穴見 健吾⁴

¹正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1)

²正会員 工修 建設省 大阪国道工事事務所 (〒536 大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

³正会員 工修 本州四国連絡橋公団 設計部 (〒105 東京都港区虎ノ門5-1-5)

⁴正会員 工修 東京工業大学助手 工学部土木工学科

長大吊り橋のハンガーロープ定着部のピン結合部に注目して、ピンとピンプレートの間に働く接触圧を有限要素法による解析、および超音波を用いた測定法により検討した。本超音波測定法においては面接触試験を用いた実験により、接触表面が25Sより良い場合に適用性が確認された。この超音波測定法を用いた測定および解析により、ピン接合部の接触圧分布は、板中心部ではHertzの公式に近い分布系を示すが、板表面においては接触圧は高くなり、また接触幅も広がっていることが分かった。

Key Words: contact pressure, pin, pin plate, ultrasonic testing, surface roughness

1. はじめに

現在建設中の明石海峡大橋および来島大橋においては、従来4本のロープで構成されていたハンガーロープを1本にすることによって、ハンガーロープ定着部の構造を簡素化している。しかし、ハンガーロープを1本にするとハンガーロープ自身の剛性が高くなるため、補剛桁への定着部を今までのように剛結構造にするとハンガーロープ自身に2次曲げによる応力が発生してしまう。そのために、ハンガーロープの桁定着部にはピン結合が採用されている。ピン結合は橋梁構造においてピン結トラス格点部、吊り橋や斜張橋のタワーリンク、落橋防止装置の定着部等さまざまな部位に用いられているが、これほどの寸法（例えば来島大橋のピンプレートの板厚は約130mm）のピンが多数用いられる例はあまりない。本研究はこのようなピン結合部について、ピンとピンプレート間の力の伝達の関わる接触圧をできるだけ正確に把握することを目的としている。

接触圧は、その性質上、直接測定することが極めて難しいため、古くから様々なアプローチによる研究が行われてきた。接触圧に関しては、Hertzの公式¹⁾が有名であり、設計等にも利用されている。この公式は様々な仮定上になりたっているため、実際の構造物に対しての適用には注意が必要である。土木構造物に対しての接触圧に関する研究は、今まであまり問題とされていなかったこともあり、多くは行われていない。鈴木、後藤、松浦²⁾によって落橋防止装置の耐荷力に関する研究の中で、境界要素

法を用いた接触圧に関する2次元接触解析が行われ、Hertzの理論解に近い解析結果が得られている。

接触圧の測定には感圧紙がしばしば利用されてきた。この感圧紙は、発色剤が塗布されたシートと顕色剤が塗布されたシートを合わせて荷重をかけると、発色剤のマイクロカプセルが破れ、その圧力に応じた濃度の色が付くことを利用した方法である。問題点としては、金属同士のハードな面同士の接触圧分布を知りたいのに、感圧紙によるパッキング効果によって紙同士というソフトな面同士の接触圧が測定されてしまい、実際の接触圧の分布形と異なる分布になってしまうことや、2枚の感圧紙の厚さが合計約0.3mmあることから、測定される接触領域が不正確なものになってしまうことが挙げられる³⁾。接触面を介しての超音波の透過の程度が接触圧に依存するとの考えに基づいて、超音波を用いて接触圧を測定することも試みられている^{4)~11)}。

本研究では、有限要素法を用いて接触圧に関する解析を行い、Hertzの公式や建設省や公団等の基準との比較を行った。また、超音波を用い、接触面における接触圧と超音波エコー高さとの変化の関係を測定し、ピン結合部での接触圧分布を接触面状態を乱さずに測定する手法について検討した。超音波による接触圧の測定は1958年にHansKrachtenによりプレス機械の型の接触状況を知るために行われたことにはじまる。日本では、伊東、益子が超音波を用いた接触圧測定の原理をまとめ^{4)・5)・6)}、小泉、水口、渋谷らによって接触面の表面粗さが小さく低い接触圧に対する超音波測定法の定量化に関する研究

が行われている^{7)~11)}。しかし本研究で必要とされる、表面粗さが比較的大きく、しかも高い接触圧に関する超音波測定法の研究は行われていない。

2. 道路橋示方書や各種の設計基準における接触圧の取り扱い

道路橋示方書¹²⁾では、接触圧に関しては、I 共通編およびII 鋼橋編の中で、鋼材の許容応力度を規定している項目の中で、支圧応力度に関する基準として示されている。許容支圧応力度の解説の中で、平面と平面が接触するもの（面接触）と、曲面と曲面あるいは曲面と平面が微小な面積で接触するもの（Hertz の接触）とに分けて記述されている。ピン結合部に関しては、ピン孔とピンの半径比 $r1/r2$ により区別して考えている。すなわち $r1/r2$ が1.02 以下の場合には、接触圧はピンの断面全面で接触するものと考え、ピンの投影面積で平均的に分担するものとし、 $r1/r2$ が1.02を越えるものはHertzの公式を適用するものとしている。

許容支圧応力度の値も、面接触を適用する場合とHertzの接触を適用する場合では異なる。Hertzの接触を適用する場合には微小な部分に集中力がかかると考えているので、通常の塑性変形過程ではなく、金属表面に鋼球を押し込む状態に近いと考えられている。このために支圧応力度をHertzの公式を適用して求める場合、許容支圧応力度は、ほぼ降伏支圧応力度に相当すると考えられるブリネル硬さの50%と規定している。

道路橋示方書では明示されていない落橋防止装置の設計法については、各機関がそれぞれ独自に規定を作っている。表-1に各基準類における接触圧の取り扱いをまとめた。また来島大橋および明石海峡大橋のピン接触部分の設計は、独自に設計方法を取っている。それぞれの基準での基本的な考え方としては、ピン孔とピンの半径比が1.02以下になるように製作することを考えて面接触を仮定し、接触圧分布を図-1(a)三角関数分布を仮定している。その分布角は公団によって45° または90° と仮定されており、その鉛直方向成分の合計が荷重と等しくなるように以下のように最大値の定式化を行っている。

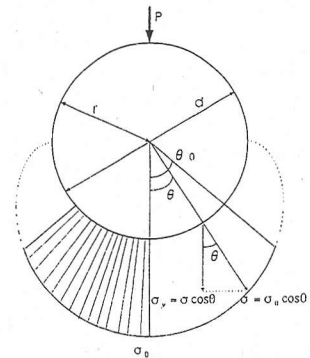
$$P = \int \sigma_y r t d\theta = \sigma_0 dt \left[\frac{\sin 2\theta}{4} + \frac{\theta_0}{2} \right] \quad (1)$$

t: ピンプレート厚さ

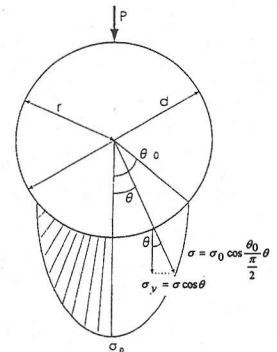
しかし、実際には図-1(b)のような形状の分布を求めてしまっているため、正しく三角関数分布を用いて求めた σ_{max} は次の式で求められる。

表-1 各公団の支圧応力度に関する基準

建設省	ピン	連結板	補強板
	規準なし	規準なし	規準なし
日本道路公団	補強板に対して cos45° 分布 $\sigma_0 = 2.68 \frac{P}{dt}$	cos90° 分布 $\sigma_0 = 1.56 \frac{P}{dt}$	cos 45° 分布 $\sigma_0 = 2.68 \frac{P}{dt}$
首都高速道路公団	規準なし	cos90° 分布 $\sigma_0 = 1.56 \frac{P}{dt}$	cos 90° 分布 $\sigma_0 = 1.56 \frac{P}{dt}$
阪神高速道路公団	規準なし	平均面圧 $\sigma_0 = \frac{P}{dt}$	平均面圧 $\sigma_0 = \frac{P}{dt}$
名古屋高速道路公社	位置によって cos45° または cos90° 分布	cos45° 分布 $\sigma_0 = 2.68 \frac{P}{dt}$	cos 90° 分布 $\sigma_0 = 1.56 \frac{P}{dt}$
福岡・北九州高速道路公社	規準なし	cos 90° 分布 $\sigma_0 = 1.56 \frac{P}{dt}$	cos 90° 分布 $\sigma_0 = 1.56 \frac{P}{dt}$



a) 接触圧分布（三角関数分布）



b) 実際に公団で基準の算出に用いている分布

図-1 接触圧分布の仮定

$$P = \int \sigma_y r t d\theta = \sigma_0 dt \cos \theta_0 \frac{2\theta_0 \pi}{\pi^2 - 4\theta_0^2}$$

これにより分布角が45° および90° の時の σ_{max} は、

$$\begin{aligned} \theta_0 = 22.5^\circ \text{ の時} & \quad \sigma_{max} = 4.058 \frac{P}{dt} \\ \theta_0 = 45^\circ \text{ の時} & \quad \sigma_{max} = 2.121 \frac{P}{dt} \end{aligned}$$

となる。二つの三角関数分布を比較した無次元化したグラフを図-2に示す。実際に三角関数分布を用いて求めたものと比較して、公団の基準における接触圧の最大値はかなり小さい値が得られてしまう。

また半径比が 1.02 以上の道路橋示方書で Hertz の公式を利用する場合においても、「計算を簡単にするため」という理由から三角関数分布を用いて求めている。また阪神高速道路公団においては、ピンの全断面で接触をしているものとして平均面圧として設計されている。

3. 有限要素法による接触圧の解析

(1) 解析方法

解析対象は、板厚等については来島大橋のピン定着部の構造を参考にした単純なモデルとした。図-3に解析状況の概略を示す。プレートは400mm×400mm×100mmとし、中央にφ133mmのピン孔をあけている。プレートの周囲は全面拘束を行った。ピンはφ130mm×210mmとし、実橋での载荷状態をモデル化するために、ピンをソケットを用いて引張る構造を考えた。ピン孔とピンとの半径比は $r1/r2=66.5\text{mm}/65\text{mm}=1.023$ と $r1/r2>1.02$ となっており、道路橋示方書ではHertzの公式を適用することになる。弾性係数は $2.1 \times 10^4 \text{kgf/mm}^2$ 、ポアソン比は0.3とした。

解析には、有限要素法汎用プログラムMARCを用い、三次元弾性接触解析を行った。用いた要素は8節点ソリッド要素である。要素分割図を図-4に示す。プレートの端部に近い領域と接触すると考えられる領域の要素が細くなるように要素分割を行った。

MARCにおける接触判定は、実際に接触することが考えられる部分の要素を接触要素として定義し、その要素を含む接触領域として定義した領域内に、他の接触領域の接触要素が近づくと、その節点を接触要素の平面内あるいは節点に拘束し計算を行う。計算の結果、拘束された節点における接触圧の値が負になる場合には、接触要素での拘束を切り離して再び計算を行う。これを接触領域全体で接触圧が釣りあうまで繰り返し計算を行うことで接触圧を求めている。接触問題は一般に非線形の挙動を示すため、いきなり解を求めたい荷重条件で解析を行うと接触圧分布が実際の分布とかけ離れた解が得られたり、計算が収束せずに計算不可能になってしまったりすることがある。従って、荷重を複数のステップに分割し、はじめは小さな荷重で接触解析を行い、その

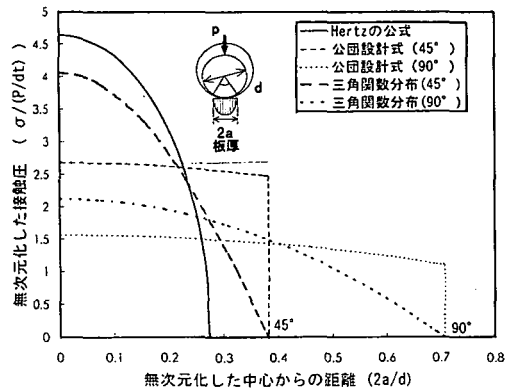


図-2 接触圧の分布形の比較

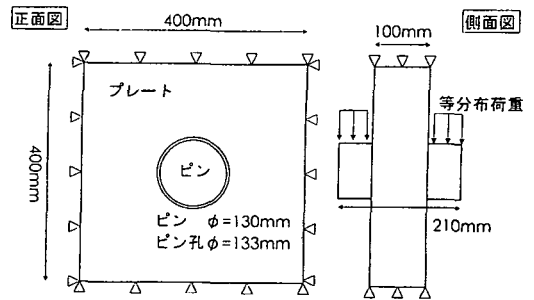


図-3 解析対象

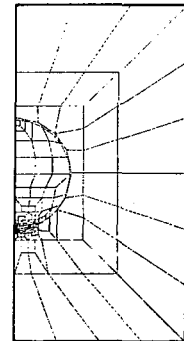


図-4 要素分割図

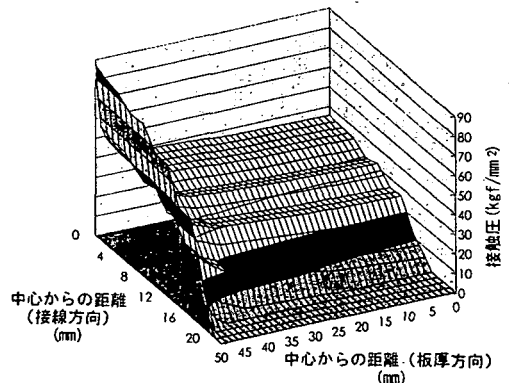


図-5 接触圧の3次元分布(解析結果)

結果をもとに徐々に荷重を増加させて解析を行うようにしている。今回の計算では、試行錯誤の末、最も計算の収束性および計算時間の面で最適であった接触領域の判定距離 0.0001mm, 荷重分割25ステップを用いて解析を行った。

(2) 解析結果

図-5に3次元的接触圧分布を示す。板厚方向の接触圧分布は、板厚中心付近では、平坦な分布を示しているのに比較して、板表面から板厚全体の10%程度のところから接触圧は急激に変化し、板端部において最大値を示している。板端部における接触圧の最大値と板厚方向の中心部の接触圧の最大値の比は、

$$\frac{\sigma_{\max}(\text{板端部})}{\sigma_{\max}(\text{板中心部})} = \frac{87.5\text{kgf/mm}^2}{35.6\text{kgf/mm}^2} = 2.48$$

となり、板端部のほうが板中心部に比較して接触圧は2倍以上も大きくなっていることがわかる。

接触領域については、板厚方向の中心部よりも板端部の接触幅が、板表面から10%程度の範囲で急激に広がっている。板厚方向の端部における接触領域と板中心部における接触領域の幅の比は、

$$\frac{\alpha(\text{板端部})}{\alpha(\text{板中心部})} = \frac{20\text{mm}}{17\text{mm}} = 1.17$$

と、接触圧ほど顕著な値ではないが接触領域も広がっていることがわかる。

図-6に、解析結果と各々の設計規準との比較を行った結果を示す。道路橋示方書ではピン孔とピンの半径比が1.02以上の場合にはHertzの公式を用いることになっているため、ここでもHertzの公式を用いた結果を示している。また公団の規準については、式1で求まる45°および90°の三角関数分布の場合を取り上げ比較を行った。解析結果は、板厚方向の中心部と板表面での接触圧分布を取り上げた。

板厚方向の中心部における解析結果は、Hertz公式の分布形と比較してかなり近いが、全体的な値はHertzの公式の解よりも若干小さい値を示している。これは接触圧が板表面部の接触圧分布の大きい部分に分配され、その結果として板厚方向中心部の接触圧が全体的に小さくなっているためと考えられる。

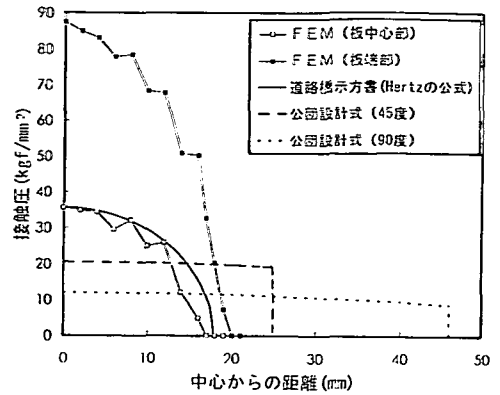
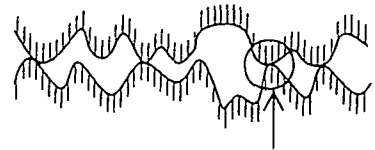


図-6 解析結果と各々の設計基準との比較



実接触面

図-7 接触面拡大図

日本道路公団の設計規準は、45°分布、90°分布のいずれも、接触圧の最大値はかなり小さい値を与え、また接触領域も解析結果と比べてかなり広いものとなっていることがわかる。

4. 超音波を用いた接触圧の測定

(1) 接触圧と超音波エコー特性

ここでは接触圧と超音波エコー音圧の変化との関係を明らかにすることを目的とし、その影響因子の一つである表面粗さを変化させた面接触試験片を用いて、接触圧と音圧の変化に関する関係について検討した。

接触する2固体の接触面は一見接触面全体で接触しているように見えるが、実際には機械加工などにより表面に凸凹が存在するために、図-7で示すように接触面のすべてで接触しているのではなく、その極一部のみで接触している。この極一部の接触面を実接触面と呼ぶが、その面積は2固体間にかかる荷重の増加に応じて変化する。接触面に作用する荷重と実接触面積の関係は実接触面が完全に弾性のときは比例し、完全に塑性の場合はほぼ比例すると言われている^{4), 8)}。超音波測定法は、以上の2つの仮定から接触圧の増加に伴う実接触面積の増加を超音波の接触面からの反射波の音圧の変化として検出するのである。

用いた面接触試験片を図-8に示す。較正ブロックの鋼材は、SM570である。実験は40mm×40mm×25mmの面接触試験体を2本の40mm×150mm×25mmの载荷棒間にはさみ、圧縮力を加える。接触面の表面加工仕上げは、機械研磨によって行った。接触面は全面で一様な接触圧で接触させるため、面接触試験片の表面を平滑に加工した。また接触面での表面粗さの違いによって、超音波反射の音圧の変化の度合いが変わることが予想されるため、ここでは表面粗さが鏡面仕上げおよび25Sに加工された較正ブロックと、50S、100Sに加工された面接触試験片の計4種類の表面粗さ状態の試験体を用意した。

実験の概要を図-9に示す。荷重が接触面全体で平均的に分配されるように、载荷棒と面接触試験片の間に厚さ1mmのエチレン・プロピレン・ゴムのシートを挿入した。超音波測定法による接触圧の測定システムを図-10に示す。測定は同種の2つの探触子を用いて、較正ブロックの側面から、接触面中央をねらうように超音波探触子を固定し、反射波のエコーを反対側の側面に固定した探触子で測定した。反射波音圧は、超音波探傷器のブラウン管上に現れる第一反射波の振幅値を読み取った。

(2) 実験結果

図-11に、各表面粗さにおける、超音波エコー高さを音圧の単位のデシベル (dB) で表現し、载荷前におけるエコー高さを基準としてその変化を示した。図中の接触圧は荷重を全接触面積で割った平均接触圧を示したものである。いずれの図においても実線は荷重を増加させているときの測定結果を、破線は荷重を除荷している段階での測定結果を示したものである。

表面を鏡面仕上げたブロックにおける測定結果を見ると、载荷後2kgf/mm²まで大きくエコー高さが変化し、その後ゆるやかにエコー高さが減少している。これは、反射波の振幅が最終的に1%程度まで減少している（エコー高さが40dB程度変化している）ことから、ほぼ実接触面積が飽和し、それ以上実接触面積が増加することがないために、変化が生じにくいと思われる。また荷重繰り返しによるエコーレベルの変化はあまり認められない。鏡面仕上げは、見た目には表面粗さがほとんど存在していないため、きわめて小さい荷重において、真実接触面積の増加を終えてしまい、それ以上の荷重においては、わずかな変化のみを生じているものと考えられる。また繰り返しでも試験結果の変化があまり見られないため、他の測定結果と異なり、表面近傍での微小な凸凹の塑性変形が殆ど生じていないものと考えられる。

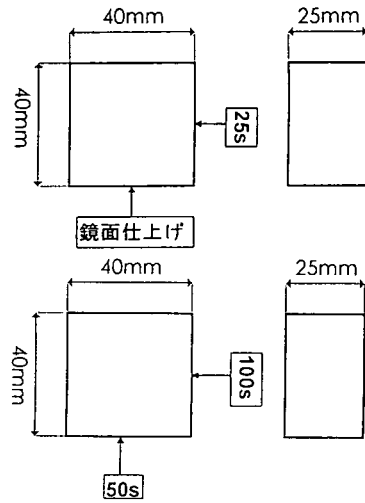


図-8 面接触試験体

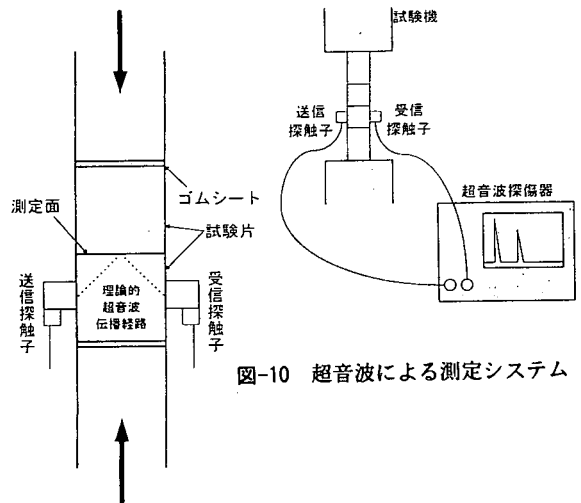


図-9 実験の概略

表面を25Sに仕上げた試験片においては、载荷時には、接触圧の上昇とともに、ほぼ直線的にエコー高さが減少している。また、除荷時には载荷時に比較してエコー高さは大きく、荷重が小さくなると急激に载荷時のエコー高さに値に近づいている。载荷時と除荷時の差異は接触面の凹凸の塑性変形による表面状態の差異によるものと考えられる。また、荷重の繰り返しによってエコー高さがゆるやかに減少していることがわかる。

表面を50Sおよび100Sに仕上げた試験片において、1回目の载荷では接触圧の上昇とともにほぼ直線的にエコー高さが減少している。しかし、1回目の除荷以後は、5kgf/mm²以下の荷重範囲において、大きくエコー高さが変化が起り、5kgf/mm²以上の荷重のときにはエコー高さがほとんど起って

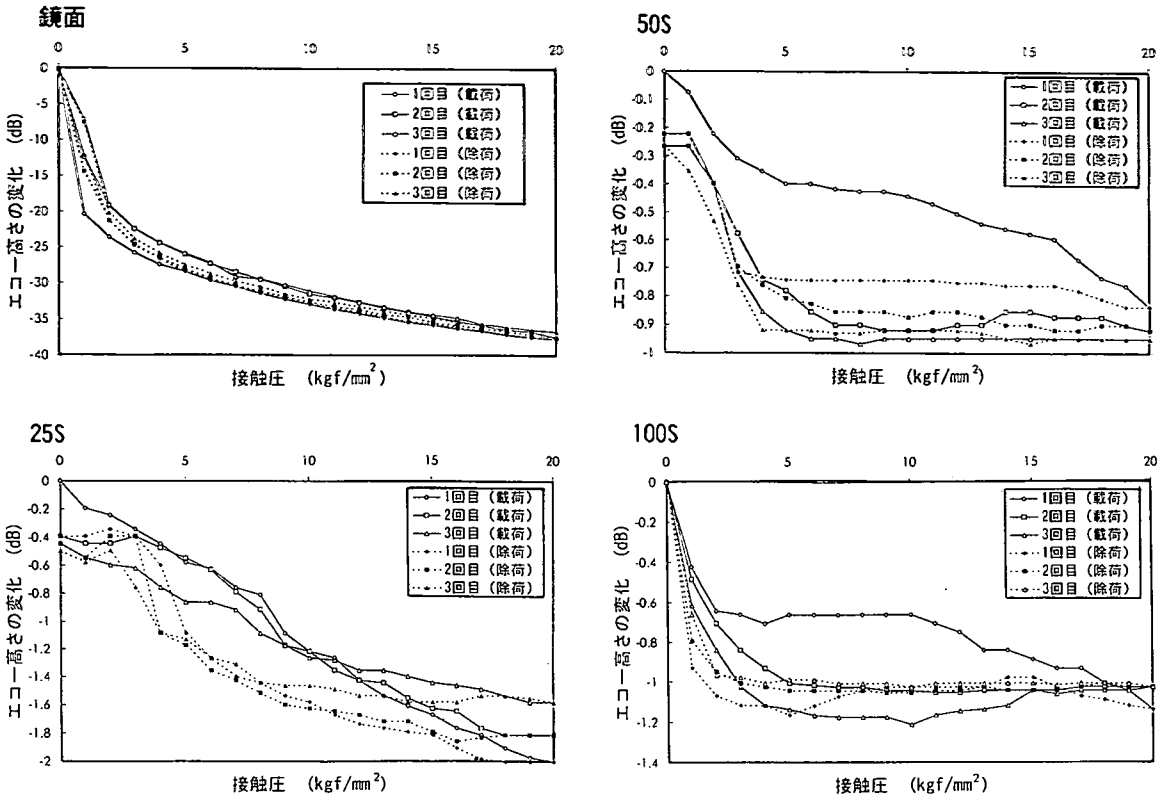


図-11 接触圧と超音波エコー高さの変化

いない。これは、実接触面積が極わずかなため、1回目の載荷時に小さい荷重でも、表面近傍において大きな塑性変形を起こし、表面粗さの状況に変化が起こってしまい、ブロック表面同士が噛み合うことで、2回目以降においては $5\text{kgf}/\text{mm}^2$ 程度までで接触面積の増加が前回の塑性変形量まで増加し、その後は荷重を増加しても真実接触面積の増加が殆ど生じないためであると考えられる。

これらのことから超音波の反射と接触圧との関係は接触面の表面粗さに大きく依存し、表面粗さが25Sよりも良いものについては、本測定法の適用性があると考えられる（実際には25Sから鏡面仕上げの間に適用限界があると思われる）が、それよりも表面状態が粗いものについては、本測定法を適用して定量的に評価することはかなり困難といえる。

図-12は、表面粗さの違いによるエコー高さの変化を比較するために、各表面粗さの試験体での1回目の載荷時における測定結果を示したものである。

鏡面仕上げのエコー高さの変化が他のものと比較して大きく異なっていることがわかる。また25Sでの変化が次に大きくなっている。50Sと100Sはほとんど差がないが、若干100Sの結果のほうが大きく変化をおこしている。これは表面での実接触挙動のわずかな差によるものと考えられる。

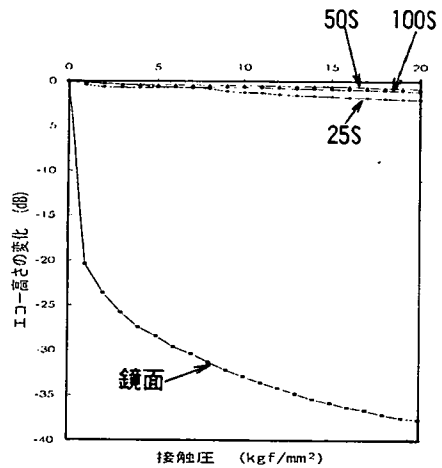


図-12 表面粗さと超音波エコー高さの関係

5. 超音波を用いたピン接合部における接触圧の測定

(1) 実験概要

試験体の概要を図-13に示す。この試験体は、吊り橋ハンガーロープの桁への定着部に用いられるピン接合部を想定したもので、2枚の平行なプレート

の間に接触圧の測定に対象となるプレートを挿入し、ピンを通して上下に引張力を伝達させる構造となっている。プレートの孔とピンの半径比は、 $r1/r2=30.75\text{mm}/30\text{mm}=1.025$ である。使用鋼材は、ピンはS45Cの鋼材を削り出したもの(60.0×131.0mm)、その他のプレートなどの部分は、SM490である。実験の概況を写真1に示す。接触する部分の粗さは6.3S程度である。

試験体への超音波の入射およびエコーの受信は、試験体の形状から制約されてくる。図-14に示すようにピンの底面から超音波を接触面に入射し、その反射波をピンの非接触面で1回反射させた後、入射位置と反対側の底面で反射波の受信を行った。探触子を移動させながら測定を繰り返すため、探触子の位置を正確に確定することが重要である。ここでは探触子位置固定用治具を製作し、探触子は押付力を一定するために強力な吸着力を有する希土類磁石を用いて固定を行った。図-15に示すように探触子の回転方向と奥行方向の位置および方向の確定を行った。

このような方法によっても測定範囲は、試験体形状や探触子の寸法、特性などにより制限されてしまう。本研究では測定対象となる中央のプレートの表面から板厚方向に12mmの範囲に対して、接触をしているピン孔最下点から接線方向に±12mmの範囲に対して、ともに2mm間隔で超音波エコーの測定を行った。

荷重は、能力±30tonの電気油圧式疲労試験機を用いて引張力をかけた。前述した面接触試験体を用いた実験結果から、荷重を繰り返しかけて測定を行うと、接触部分の表面粗さがへたりを起し、接触面状況が変化してしまうために接触面における超音波の透過率が測定回数とともに変化してしまうことが考えられる。このため、荷重を繰り返さずに1度きり荷重を増加させるようにし、その測定を行う荷重ごとに探触子の位置を動かし全測定点における測定を行い、その荷重における測定終了後に荷重を変化させることを繰り返した。測定は0ton(非接触状態)から3tonまでは0.5tonごとに、その後6tonまでは1tonごとに測定を行った。

(2)実験結果

図-16に各荷重において受信探触子によって受信された超音波エコー高さを、音圧の単位であるデシベル(dB)で表現し、非接触状態(荷重0ton)のときの測定された超音波エコー高さを基準として、エコー高さの変化の分布を等高線を用いて整理して示す。破線はその荷重においてHertzの公式を用いて

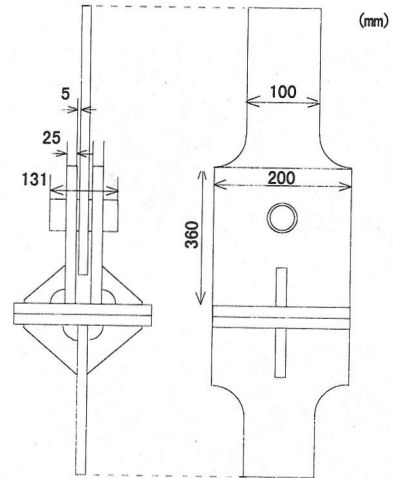


図-13 試験体形状

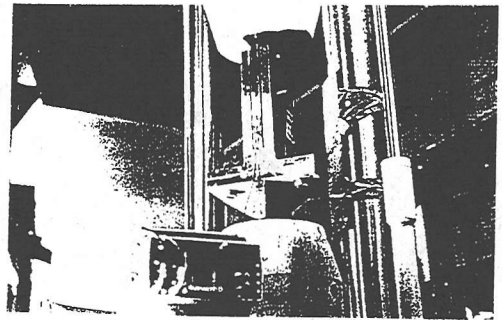


写真-1 実験概要

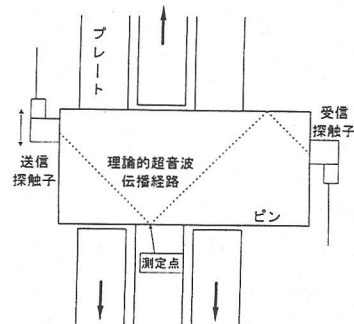


図-14 超音波の入射方法

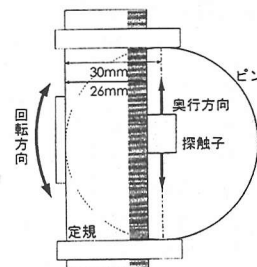


図-15 探触子位置の確定方法

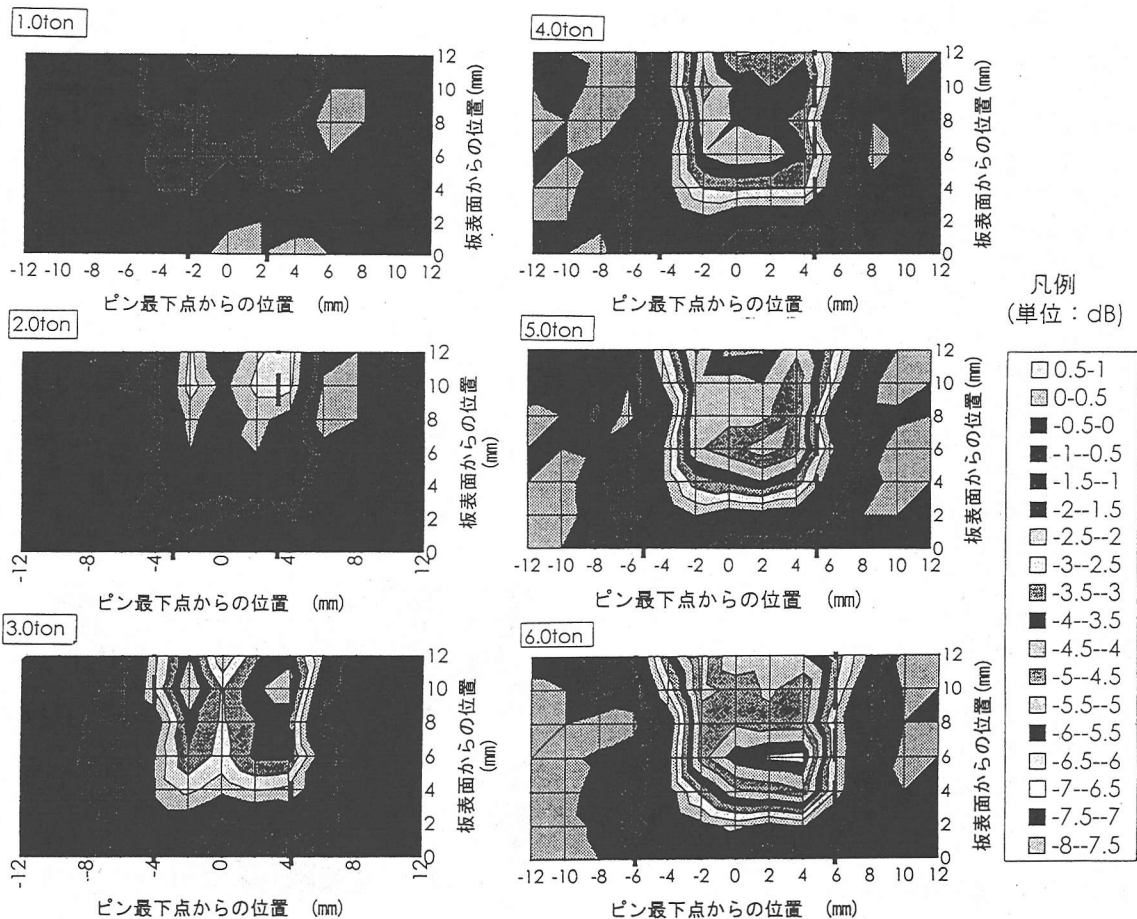


図-16 荷重とエコー高さの関係

計算される接触領域である。

荷重の増加とともにエコー高さが減少している領域が広がり、エコー高さの変化量も大きくなっていることが確認できる。ただし、エコー高さの変化のピンの接線方向における分布をみると、どの荷重の場合の測定値をみても1mm程度右に偏っている。このことから実際の接触範囲が測定中心よりも1mm程度右に偏っているのではないかと推定することができる。

板表面から2~4mm程度の範囲では、エコー高さの変化量が板の内部による変化量と比較して小さくなっている。これは、測定している超音波は実際は線のようなビームではなく、ある幅を持った波動であるために、振動子の範囲でのエコー高さの平均値となり、板の無い部分（非接触部）で反射した超音波も受信しているためと考えられる。

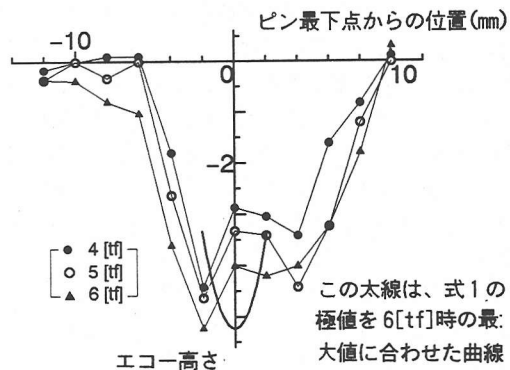


図-17 表面から12mm位置でのエコー高さの分布

図-17に表面から12mmでの断面でのエコー高さの分布を示す。図-12よりエコー高さの変化と接触圧との関係を概そ線形と考えられることから、これは

ほぼ接触圧の分布と考えることができる。最大値をHertz式から求まる値とすると、分布はほぼHertz式に合うといえよう。実測されたエコー高さの変化している幅の方が、Hertzの公式の結果と比較して左右合計でおおよそ4~5mm程度広がっている原因もビームに幅があるためである。

以上のことにより、超音波の反射・透過の変化を用いてピン結合部における接触圧を測定ビーム幅からくる測定誤差を補正することが課題といえよう。

6. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

1. ピン結合部の接触圧を有限要素法を用いて解析を行い、板表面近くで急激に接触圧分布が変化し、板表面で最大値を示し板中心部と比較して接触圧で約2.5倍、接触領域でも1.2倍程度になるといった、3次元端部効果が確認された。

2. 面接触試験片を用いて接触圧とエコー高さの関係を超音波測定法により測定する実験を行い、25Sよりも表面状況がよい場合には、本測定法の適用性が確認された。またそれよりも表面粗さが粗い場合には、適用できないといえる。

3. ピン結合部に対して、超音波測定法を用いて接触圧分布の測定を行い、その適応性の確認を行い次のような特徴がわかった。

・Hertzの公式から求まる接触領域と比較して探触子寸法(10×10mm)の2分の1ほど広い領域でエコー高さの変化が測定された。

・板表面から4mm程度の範囲では、被接触部からの反射波が多く存在するため板中心部と比較してエコー高さの変化が小さくなっている。

・Hertzの公式において接触圧が高い部分での超音波エコー高さの変化が大きくなっている。

以上のことからピン接合部の接触圧分布に関して

定性的な測定が可能であることがわかった。

以上より実験および解析結果から、ピン接合部の接触圧分布は、板中心部ではHertzの公式に近い分布形を示しているが、板表面において接触圧は高くなり、また接触幅も広がっている。このためHertzの公式を用いて設計を行う場合には、これらについて注意を払う必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会：構造力学公式集，1986。
- 2) 鈴木五月，後藤芳頼，松浦聖：鋼道路橋の落橋防止装置連結板の応力解析と設計手法に関する一考察，構造工学論文集，Vol. 34A，pp. 341-350，1988。
- 3) 樋口重雄，佐藤宏司，岩崎勤：接触面圧の測定，非破壊検査，第27巻，第11号，pp. 751-754，1978。
- 4) 益子正巳，伊東諒：すべり案内面の圧力分布に関する研究（第1報，超音波による接触面圧力測定），日本機械学会論文集，34巻，257号，pp. 191-198，1968。
- 5) 伊東諒，益子正巳：すべり案内面の圧力分布に関する研究（第2報，固体接触状態の面圧力分布形状），日本機械学会論文集，36巻，284号，pp. 639-648，1970。
- 6) 伊東諒：超音波による接触圧力の測定方法，非破壊検査，第25巻，第10号，pp. 669-675，1976。
- 7) 水口義久，小泉堯，吉峯鼎：超音波による接触圧力測定，非破壊検査，第32巻，第12号，pp. 956-963，1983。
- 8) 水口義久，吉峯鼎，小泉堯，萩原：超音波による接触圧力測定（定量測定法について），日本機械学会論文集（A編），50巻，453号，pp. 953-958，1984。
- 9) 水口義久：超音波による接触圧力測定（金属平形ガスケットを挿入したボルト締結体について），日本機械学会論文集（A編），50巻，457号，pp. 1668-1674，1984。
- 10) 水口義久，小泉堯，渋谷寿一：斜角探触子を用いた超音波による接触圧力測定，日本機械学会論文集（A編），51巻，461号，pp. 268-272，1985。
- 11) 水口義久，渋谷寿一，小泉堯：超音波による接触圧力測定法の改良，日本機械学会論文集，60巻，571号，pp. 888-894，1994。
- 12) 社団法人日本道路公団：道路橋示方書・解説，1990

(1996. 5. 16 受付)

A STUDY ON CONTACT PRESSURE AT PIN CONNECTION DETAIL

Chitoshi MIKI, Manabu SUZUKI, Harukazu OOHASHI and Kengo ANAMI

Contact pressure between pin and pin plate is discussed by FEM and UT from the point of view of the connection detail of hanger rope of long span suspension bridge. Application of the UT to the 25S surface specimen (and smoother surface) is effective. The results of UT and FEM distribution of contact pressure near the center of plate almost agree with the Hertz law. However near the surface of pin plate the contact pressure and plate width of large contact pressure region increase larger than those near center of pin plate.