

## WG1 古い構造物の材料特性・構造特性・耐荷力評価方法

|    |      |         |         |             |
|----|------|---------|---------|-------------|
| 主査 | 高尾道明 | NKK     | 橋梁建設部   | 開発技術室       |
|    | 上仙 靖 | 建設省     | 土木研究所   | 構造橋梁部 橋梁研究室 |
|    | 藤井 堅 | 広島大学    | 工学部     | 第四類         |
|    | 堀口隆良 | (株)長大   | 東日本事業本部 | 構造事業部       |
|    | 町田文孝 | 川田工業(株) | 技術開発本部  | 技術研究室       |
|    | 村井亮介 | 三菱重工(株) | 広島研究所   | 物質工学研究室     |

### 1. 総括

#### 1.1 調査の概要

本WGでは既設構造物の耐荷力評価方法について調査した。

既設構造物全体の実耐荷力を評価するためには、使用材料の特性を確認し、各部材の健全度を把握する必要がある。また、設計上は考慮されない2次部材などの影響を評価することで構造物全体としての実耐荷力を精度よく捉えることができると考えられる。そこで今回、次のような調査項目・キーワードの下で、文献調査を実施した。

- a) 材料特性評価：
  - ・ 古材の機械的性質・溶接施工性の評価法
  - ・ 採取材料のミニマムサイズ
  - ・ 非破壊試験の精度と可能性
- b) 構造特性評価：
  - ・ 腐食した部材の断面性能ならびに腐食量・残存板厚の計測法
  - ・ 高力ボルトの遅れ破壊点検や軸力の弛み測定
  - ・ リベットの腐食や弛み、集成材や連結部の限界状態
  - ・ ピン結合トラスの格点部摩耗、支承の摺動面
- c) 耐荷力評価
  - ・ 全体構造系での破壊実験事例、重車両載荷実験事例
  - ・ 実橋の応力状態の評価、特に死荷重応力
  - ・ 2次部材や床版、支承などのモデル化
  - ・ 各部材損傷が全体系に及ぼす影響度評価

なお、文献調査は、ここ5年間の論文集、技報、技術雑誌などを中心に実施した。出典リストは以下の通りである。

土木学会論文集、構造工学論文集、土木学会年次学術講演会、鋼構造論文集、構造工学シンポジウム、ハウエイ技術、本四技報、鋼橋技術研究会報告、土木技術、土木研究所資料、鉄道総研報告、橋梁、橋梁と基礎、高速道路と自動車、道路、土木施工、日経コンストラクション、JSSC、鉄と鋼、材料、金属、非破壊検査、溶接学会誌、溶接学会論文集、溶接技術、防錆管理、防錆技術、塗装技術、新日鉄技報、NKK技報、R&D神戸製鋼技報、川田技報、三菱重工技報、石川島播磨技報、YOKOGAWA BRIDGE GROUP TECHNICAL REPORT、川崎重工技報、住友重機技報、宮地技報、日立造船技報、三井造船技報

## 1.2 新しい技術の動向

### (1) 材料特性評価

古い鉄道橋供用材の確性試験を実施し、材料の破壊靱性を把握することで安全性評価の基礎資料とする試み、小型試験片での破壊靱性評価手法確立のための試験実施報告が見られた。また、基礎的な研究結果ではあるが、材料内の介在物・欠陥によりパルス的な磁気ノイズが発生する「バルクハウゼン効果」を使った材質評価法が紹介されている。他には、圧延鋼板の品質管理の分野ではあるが、光学顕微鏡などにより観察した鋼板の組織と機械的性質との関係を定量的に評価する試みが数多くなされている。

### (2) 構造特性評価

「腐食部材の評価」と「高力ボルト継手の経年変化」に関する文献が目立った。

腐食部材については、腐食減厚の計測法や部材の残存強度などの研究が行われている。腐食減厚の計測法としては、塗膜上からの超音波板厚測定法や、イメージングプレートによる減肉厚さ推定法が報告されている。また、腐食鋼材表面形状の計測法の自動化と現地適用性を目的としたシステムの開発も行われている。残存強度に関しては、実構造物から採取した腐食鋼材の試験の結果から、腐食表面性状と力学特性の関係や応力評価、有効板厚評価の検討などが行われている。

高力ボルト継手の経年変化については、残存軸力やすべり係数の実測調査が行われ、経年データの蓄積などが進められている。これまでボルト軸力低下の原因として、接触面でのクリープ・ラクセーションが挙げられていたが、錆の影響も大きいようであり、ボルト頭やナットの減肉量が残存軸力の推定パラメータになり得るとの報告もある。また、摩擦面処理の違いによるボルト軸力やすべり係数の経年変化に着目した実験も行われている。

### (3) 耐荷力特性

各所で既設橋の載荷試験が行われ、実測値と設計値の関係が統計的に分析・検討されている。載荷試験の測定結果とFEM解析の比較を通じて、既設橋耐荷力評価が行われており、実挙動を的確に把握するためには、床版の主桁作用・荷重分配作用や横構の準閉断面効果などを考慮する必要であると、考察されている。その他には、FEM解析モデルを使って、部材破断時の鉄道橋の挙動およびそうした異常時にラタル、対傾構が果たす役割を検討した例が見られた。

実構造物の応力状態の評価については、歪ゲージ法が一般的であるが、これは応力の変化量を計測するものであり、既設構造物の死荷重状態での応力測定は破壊検査とならざるを得ない。死荷重状態の応力を非破壊にて測定する主な技術としては、X線応力測定法、音弾性法、磁気歪法、バルクハウゼンノイズ法などがある。ただし、X線測定法以外は主応力差を計測するものである。X線測定法は機器の大きさや安全性の確保の面から現場測定には不向きであるが、三軸応力の測定が可能である。また、これらの非破壊による応力測定方法は、内部応力を非破壊にて測定できる可能性を有しているが、まだ、応力測定を行う際のイニシャル値の設定方法や測定精度などの課題を残している。なお、これらの非破壊による応力測定では、残留応力なども含まれる。

## 2.3 課題

### (1) 材料特性評価

材料の機械的性質を非破壊検査で評価する技術は、定性的評価が可能になった段階であり、定量的評価には至っていないのが現状である。しかも研究室レベルでの話であることから、現時点では採取材料のミニマムサイズの追求が現実的な課題かと思われる。残念ながら今回の文献調査ではこれに該当するものは見当たらなかった。

### (2) 構造特性評価

腐食部材の残存強度を評価するための有効板厚の推定式は、次式のように表される。

$$\text{有効板厚 } t_e = t_r - \alpha \cdot S$$

ここで、 $S$ は測定板厚の標準偏差である。測定板厚の代表値  $t_r$  についてはいくつかの提案があり、局所的な最小板厚よりも平均板厚を使う方が適当であるとの報告もある。同じく、補正係数  $\alpha$  についてもいくつかの見解がある。また、板厚測定法によって残存強度の評価精度が異なることも報告されている。したがって、実構造物に適用するためには、簡易かつ高精度の板厚測定技術の開発が望まれる一方、その測定法に適した推定式の確立が望まれる。

高力ボルト継手の経年変化については、実橋調査あるいは供試体を使った長期耐久性試験により軸力やすべり係数などのデータ収集が行われている。ただし、導入軸力のバラツキなど建設当時の施工性やボルトの腐食減肉なども影響因子となるため、一般的傾向として論じるにはデータ量は必ずしも十分とは言えないようである。

今回の文献調査では、リベット構造（連結部、集成材）の残存耐荷力評価に該当するものは見当たらなかった。JICST による検索も行ったが、ほとんどが航空機関連であった。航空機分野では、リベット結合部の疲労・腐食を検出するための非破壊検査技術（渦電流、光学顕微鏡、超音波顕微鏡など）や、リベット結合構造の残存強度を予測する解析法が開発が精力的に行われているようである。これらを参考に、土木構造物を対象とした研究が望まれる。

### (3) 耐荷力特性

既設橋の耐荷力評価において、実橋をより忠実にモデル化すればその精度は向上するが、それは必ずしも実務的な手法とは言い難い。実務レベルに合った的確な解析手法の確立が望まれる。また、床版や2次部材が実挙動に寄与しているとのことだが、橋梁システム全体としての終局状態ではどのように考えるべきか、等の研究が望まれる。

耐荷力評価においては、死荷重応力を評価する必要がある。鋼材の内部応力の測定方法として、X線応力測定法、音弾性法、磁気歪法、バルクハウゼンノイズ法など非破壊による応力測定方法が研究されているが、測定精度や死荷重応力以外に残留応力なども含まれたものであり、測定結果を解析モデルに如何に反映するか、といった課題を抱えている。今後、限界状態設計法などの導入に際し、鋼材の内部応力を正確に測定する方法の研究が望まれる。

## 2. 文献整理票

文献整理票を整理票リストと合わせて次ページ以降に添付する。

○ 材料特性評価

|        | 文献名   | 著者名            | 出典名                 | 巻号             | ページ     | 発行年月日    | キーワード  |
|--------|---|----------------|---------------------|----------------|---------|----------|--|
| WG1-1  | 鋼材の降伏点、引張強さおよび伸びの実情調査                           | 鈴木             | 土木学会年次学術講演会         | 第1部            | 546-547 | 1992年    | 引張試験、引張強度、板厚、降伏点、伸び  |
| WG1-2  | 鋼橋鋼材の破壊靱性値試験                                    | 小林、成本、阿部       | 土木学会第53回年次学術講演会 概要集 | I-A            | 520-521 | 1998年10月 | 靱、破壊靱性、シャルピー衝撃試験、COD試験、RCT試験   |
| WG1-3  | ブロック分割による複線トラス旧橋の解体と使用鋼材の健全度調査                  | 飯野、国枝、須藤、高橋    | 橋梁と基礎               |                | 21-29   | 1997年6月  | トラス、経年鋼構造物、健全度調査   |
| WG1-4  | 26年間供用した我が国最初の80キロ鋼橋                            | 西部、木水          | 橋梁と基礎               |                | 10-14   | 1995年10月 | 高張力鋼、高張力ボルト、健全度調査  |
| WG1-5  | 鉄鋼材料の組織から機械的性質を予測する手法の現状と課題                     | 梅本             | 鉄と鋼                 | Vol.81, No.3   | 157-166 | 1995年3月  | 鉄鋼材料、組織、機械的性質、引張強度、応力-歪曲線、定量化、定量化  |
| WG1-6  | 鋼材および溶接部の材質・強度予測                                | 梅本             | 溶接学会誌               | 65巻 7号         | 547-551 | 1996年7月  | 材料強度、組織、熱力学、変態、駆動力、結晶粒界、転位   |
| WG1-7  | 金属・材料の磁性と検査・物性                                  | 山部             | 金属                  | Vol.68, No.7   | 603-610 | 1998年7月  | 磁気、センサ、磁束、磁気顕微鏡、核磁気共鳴、メスハウア-効果   |
| WG1-8  | 超音波顕微鏡による材料評価                                   | 石川             | 金属                  | Vol.67, No.10  | 823-830 | 1997年10月 | 超音波、音速、弾性表面波、非破壊検査、剥離、き裂、加工変質  |
| WG1-9  | 超音波を用いた材料の損傷・劣化評価                               | 中代             | 金属                  | Vol.68, No.8   | 701-710 | 1998年8月  | 超音波、探傷、劣化、音速、減衰、周波数、クレー、微小き裂、キャパティ   |
| WG1-10 | レーザ超音波と非接触材料評価                                  | 山脇             | 溶接学会誌               | 64巻 2号         | 104-108 | 1995年2月  | レーザ超音波、非接触計測、非破壊検査、超音波計測、レーザ干渉計、欠陥検査、音速測定、材質評価   |
| WG1-11 | 走査型超音波顕微鏡と超音波探傷映像装置による材料評価                      | 小鯛、森、宇野、岡崎     | 川崎重工技報              | 122号           | 74-79   | 1994年7月  | 超音波、顕微鏡、映像、反射率、音速、結晶方位、焼き戻し温度、き裂   |
| WG1-12 | 最近の超音波画像技術                                      | 小倉             | 金属                  | Vol.68, No.8   | 694-700 | 1998年8月  | 超音波、画像装置、電子走査、探傷器、き裂、界面、非金属介在物   |
| WG1-13 | レーザヘッセルセンサーを用いた鋼材の疲労損傷の評価 - 疲労によるスベックルハタンの変化 -  | 加藤、伊藤          | 材料                  | Vol.45, No.3   | 346-351 | 1996年3月  | Nondestructive inspection, Optical measurement, Fatigue damage, Laser speckle sensor                       |
| WG1-14 | マイクロマテリアルの機械的特性評価法                              | 箕島、駒井          | 材料                  | Vol.47, No.4   | 427-433 | 1998年4月  | Micromaterial, Microelement, Micromechanical testing, Intrinsic stress, Elastic modulus, Fracture strength |
| WG1-15 | マイクロ組織定量化による余寿命診断方法の開発                          | 小山、田村、宮口、中野、渡部 | 材料                  | Vol.44, No.496 | 90-95   | 1995年1月  | Boiler plant, Life evaluation, Creep life, Aging, Microstructure, Image analysis                           |
| WG1-16 | ハルクハウゼンノイス法による非破壊材料評価                           | 古屋             | 溶接学会誌               | 64巻 2号         | 120-125 | 1995年2月  | 非破壊評価、時期、ハルクハウゼンノイス、センサ、残留応力、材料評価、損傷劣化、強磁性体、周波数解析  |
| WG1-17 | ハルクハウゼンノイスを用いた材料評価 その1 - ハルクハウゼンノイス法の基礎 -       | 伊藤、古屋          | 非破壊検査               | 45巻 1号         | 3-7     | 1996年1月  | ハルクハウゼンノイス、材料評価、材質試験、磁気測定、材質劣化、波形解析、応力測定   |
| WG1-18 | ハルクハウゼンノイスを用いた材料評価 その2 - ハルクハウゼンノイス法の実際問題への適用 - | 伊藤、古屋          | 非破壊検査               | 45巻 2号         | 91-98   | 1996年2月  | ハルクハウゼンノイス、材料評価、材質試験、磁気測定、材質劣化、波形解析、応力測定   |

○ 構造特性評価

|        | 文献名                                     | 著者名               | 出典名                                | 巻号        | ページ       | 発行年月日    | キーワード   |
|--------|---|-------------------|------------------------------------|-----------|-----------|----------|---|
| WG1-19 | 腐食を受けた構造用鋼材の表面形状認識システムおよび有効板厚評価         | 生賀、池田、松岡、森東       | 土木学会 第52回年次学術講演会 概要集               | I-A       | 548-549   | 1997年9月  | 腐食、鋼板、システム、設備診断、維持管理                          |
| WG1-20 | 腐食鋼板の表面性状と残存耐力                          | 村中、皆田、藤井          | 構造工学論文集                            | 第I部       | 1063-1071 | 1998年    | 腐食、腐食鋼板、表面性状、静的強度、疲労試験                        |
| WG1-21 | 腐食を受けた構造用鋼材の強度劣化と有効板厚評価                 | 松岡、坂本、村中、皆田       | 土木学会年次学術講演会                        | 第I部       | 696-697   | 1995年    | 腐食、引張試験、有効板厚                                  |
| WG1-22 | 腐食部材の健全度評価に関する研究                        | 大野、名取、稲田          | 横河ブリッジ グループ技術報                     |           | 82-94     | 1998年1月  | 腐食、健全度評価、板厚測定、超音波厚さ計、レーザー一式変位計、残存強度           |
| WG1-23 | 鋼橋の腐食事例とその分析                            | 名取、照山、橋本、奥嶋、西川、村越 | 土木学会年次学術講演会                        | 第I部       | 574-575   | 1993年    | 腐食、錆、漏水、滞水、橋梁                                 |
| WG1-24 | 腐食した鋼構造物の塗膜上からの板厚測定                     | 生賀、池田、松岡          | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集               | I-A       | 624-625   | 1998年10月 | 板厚測定、塗膜上、維持管理、設備診断、腐食鋼板                       |
| WG1-25 | イメージング・プレートを利用した配管の減肉深さ推定方法の開発          | 四辻                | 非破壊検査                              | 47巻 11号   | 822-824   | 1998年11月 | 配管、減肉、イメージングプレート、デジタルラジオグラフィ、検査、診断            |
| WG1-26 | 17年間供用された高力ボルト摩擦継手のすべり耐力に関する実験          | 谷平、亀井、石原、田井戸      | 構造工学論文集                            | Vol. 36 A | 1087-1096 | 1990年3月  | 高力ボルト、摩擦継合、残存軸力、すべり係数、すべり耐力、経年変化              |
| WG1-27 | 施工後10数年経過した橋梁の高力ボルト継手の維持管理に関する諸問題       | 西岡、乙黒、矢幡、長沼、吉川    | 構造工学論文集                            | Vol. 43 A | 961-966   | 1997年3月  | 鋼橋、高力ボルト、たたき点検、残存軸力                           |
| WG1-28 | 高力ボルト軸力の経年変化に関する一考察                     | 亀井、谷平、石原、畑中、亀井    | 土木学会 第49回年次学術講演会 概要集               | I-A       | 204-205   | 1994年9月  | 高力ボルト、実橋調査、経年変化、残存ボルト軸力                       |
| WG1-29 | 高力ボルト摩擦継手の長期耐久性実験                       | 谷平、亀井、川上、石原、藤田    | 土木学会 第50回年次学術講演会 概要集               | I-A       | 800-801   | 1995年9月  | 高力ボルト、実橋調査、経年変化、残存ボルト軸力、すべり係数                 |
| WG1-30 | 実橋高力ボルト継手部の長期耐久性実験                      | 石原、亀井、谷平、亀井       | 土木学会 第52回年次学術講演会 概要集               | I-A       | 422-423   | 1997年9月  | 高力ボルト、摩擦継合、継手、耐久性、維持管理                        |
| WG1-31 | 腐食減肉した高力ボルトの残存軸力測定                      | 大野、名取、村越          | 土木学会 第49回年次学術講演会 概要集               | I-A       | 518-519   | 1994年9月  | 高力ボルト、腐食、減肉、残存軸力測定                            |
| WG1-32 | 高力ボルト軸力の簡易測定器の開発                        | 白尾、石崎、藤田、田中       | 構造工学技術シリーズNo.5 構造物の診断に関するシンポジウム論文集 |           | 93-98     | 1998年7月  | 鋼橋、高力ボルト、軸力測定、電磁力、共振周波数                       |
| WG1-33 | 電磁超音波センサによる横波を利用したボルトの軸力評価              | 萩、平尾、安井           | 非破壊検査                              | 47巻 5号    | 331-336   | 1998年5月  | ボルト、応力測定、EMAT、位相、音弾性                          |
| WG1-34 | X線によるPC主ケープル調査法の研究                      | 七里、吉田             | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集               | I-A       | 826-827   | 1996年10月 | PC桁橋、PC主ケープル、クラック、健全性、X線透過                    |
| WG1-35 | 既設道路橋の実橋載荷試験における床版鉄筋応力の挙動               | 牧角                | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集               | CS        | 84-85     | 1998年10月 | 床版、鉄筋応力、実橋載荷試験、下面増厚工法                         |
| WG1-36 | 直流電位差法による新幹線車軸の車輪圧入部における三次元表面き裂の非破壊定量評価 | 赤間、坂              | 非破壊検査                              | 47巻 5号    | 322-330   | 1998年5月  | 直流電位差法、新幹線車軸、表面き裂、フレッチング・コロージョン、境界要素法、準ニュートン法 |
| WG1-37 | 電磁超音波共鳴法による溶接残留応力度の非接触測定                | 萩、平尾              | 非破壊検査                              | 47巻 7号    | 526-530   | 1996年7月  | 非破壊評価、電磁超音波共鳴、音弾性、応力測定、残留応力、溶接鋼管              |

|        | 文献名                                    | 著者名            | 出典名   | 巻号           | ページ     | 発行年月日   | キーワード                                       |
|--------|--|----------------|-------|--------------|---------|---------|---|
| WG1-38 | SUS304鋼の音弾性特性と溶接残留応力の測定                | 石、山崎、八重川、平尾、福岡 | 非破壊検査 | 46巻 9号       | 674-680 | 1997年9月 | 音弾性特性、超音波、応力測定、残留応力、ステンレス鋼、溶接               |
| WG1-39 | 疲労き裂モニタの開発                             | 森野、日和、猪飼       | 材料    | Vol.45, No.1 | 79-84   | 1996年1月 | 疲労寿命予測、き裂モニタ、ひずみ解析                          |
| WG1-40 | 高温破壊のコンピュータシミュレーション その3: 構造材料の寿命・余寿命評価 | 藤山             | 材料    | Vol.45, No.1 | 137-142 | 1996年1月 | 寿命評価、コンピュータシミュレーション、高温機器部材                  |
| WG1-41 | 発電プラント機器の非破壊検査技術の進展                    | 榎並             | 溶接学会誌 | 65巻 8号       | 633-647 | 1996年8月 | 非破壊検査、定期検査、超音波探傷法、渦電流探傷法、探触子、探傷器、欠陥定量化、信号処理 |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |
|        |  |                |       |              |         |         |   |

○ 耐荷力評価

|        | 文献名                            | 著者名              | 出典名                      | 巻号           | ページ       | 発行年月日    | キーワード  |
|--------|--------------------------------|------------------|--------------------------|--------------|-----------|----------|--|
| WG1-42 | 鋼プレートガーダー橋における応力測定結果に関する報告     | 藤原、村越、鹿嶋         | 構造工學論文集                  | Vol.37A      | 1181-118E | 1991年3月  | 鋼桁橋、実測応力度、計算応力度、ヒストグラムコーダ、ピークハレ法、レイフロー法  |
| WG1-43 | 東京都における既設橋梁の実応力測定と応力実態         | 高木、藤本、森          | 橋梁と基礎                    | 第3巻          | 19-23     | 1992年7月  | 既設橋梁、実応力測定、静的載荷試験、動的載荷試験   |
| WG1-44 | 鋼道路橋の実応力比に関する調査報告              | 鈴木               | 鋼構造年次論文報告集               |              | 155-162   | 1995年11月 | 実応力比、道路橋、疲労  |
| WG1-45 | 箱根登山鉄道 早川橋梁の実荷重による強度調査         | 山内、入部、勝間         | 土木学会 第49回年次学術講演会 概要集     | I-A          | 370-371   | 1994年9月  | 実橋測定、100年供用、鉄道橋、ダブルレントラス橋  |
| WG1-46 | 30年間供用された連続合成桁橋のトランク走行試験と現場計測  | 白倉、小深田、長井、伊藤、平城  | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集     | I-A          | 144-145   | 1998年10月 | 合成桁、連続桁橋、現場計測、荷重評価、ひび割れ調査、性能評価   |
| WG1-47 | 30年間供用された連続合成桁橋の断面性能とシステム性能評価  | 増田、吉田、林、伊藤、平城、松井 | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集     | I-A          | 146-147   | 1998年10月 | 連続合成桁橋、車両走行試験、RC床版、有効幅、性能評価  |
| WG1-48 | 既存非合成桁橋梁の実耐荷力に関する研究            | 山田、三田、三木、長江      | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集     | I-A          | 616-617   | 1998年10月 | 合成桁橋梁、非合成桁橋梁、鉄筋コンクリート床版、合成作用、実耐荷力  |
| WG1-49 | プレートガーダー橋の実橋載荷試験及び立体FEM解析による検証 | 窪田、西、谷倉、上野       | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集     | I-A          | 618-619   | 1998年10月 | プレートガーダー橋、載荷試験、FEM解析、格子計算、補修・補強  |
| WG1-50 | 余剰耐力および冗長性を考慮した構造解析による検討       | 山川、杉館、小林、伊藤、佐藤   | 土木学会 第53回年次学術講演会 概要集     | I-A          | 550-551   | 1998年10月 | 鋼鉄道橋、FEM構造解析、パラメータ解析、余剰耐力、冗長性  |
| WG1-51 | 磁歪応力測定システムによる橋梁架設時の応力測定実験      | 境、津村、高田、田村       | 日本非破壊検査協会平成10年度秋季大会講演概要集 |              | 89-90     | 1998年11月 | 橋梁、保守、磁気異方性、磁気ひずみ、応力測定   |
| WG1-52 | 磁気異方性を利用した応力測定法の橋梁への利用検討       | 境、津村、高田、田村       | 日本非破壊検査協会平成10年度秋季大会講演概要集 |              | 87-88     | 1998年11月 | 橋梁、保守、磁気異方性、磁気ひずみ、応力測定   |
| WG1-53 | 長距離パイプラインのライフタイム危険度評価について      | 小池               | 材料                       | Vol.48, No.1 | 83-88     | 1999年1月  | Transmission pipeline, Lifetime failure, Maintenance activities, Probability, Earthquake, Defect |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |
|        |                                |                  |                          |              |           |          |  |



## 文献整理票

## WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

## 文献名：

鋼材の降伏点，引張強さおよび伸びの実状調査

## 著者名：鈴木博之

## 出典名：土木学会年講概要集第I部

ページ：546-547

## 発行年月日：1992

発行元：土木学会

## 要旨：

1970年から1992年までに橋梁製作工場で行われた静的引張試験結果（約2600）を用いて，板厚が降伏点，引張強度および伸びにおよぼす影響を調べた。

## 概要

降伏点：板厚の増加に連れて低下する傾向がある。

降伏比：SM400の場合，高降伏点のものは降伏比が大きい（最大0.73）

引張強さ：規格値を満足するように作られるため，板厚との相関はない。

伸び：板厚が厚くなると増加傾向を示す

その他：試験片の種類によって板厚依存性が異なる。特にJIS5号試験片は依存性が大きい。

キーワード：引張試験，引張強度，板厚，降伏点，伸び

文献整理

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：鋼橋鋼材の破壊靱性値試験

著者名：小林明弘、小林俊夫、成本朝雄、阿部允

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.520~521

発行年月日：1998年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

古い鉄道橋供用材の靱性試験を実施し、材質、特に破壊靱性を把握することにより、安全性評価の基礎資料とすること、また、小型試験片での破壊靱性評価手法確立のためにRCT試験を実施した。

概要：

大正7年建造（経年80年）の下路プレートガタの発生材を用い、下の表-1に示す試験を行った。

表-1 試験項目（L、Cは試験片採取方向、数字は試験片数）

| 鋼種  | 部位        | 分析 | マクロ、ミクロ | 引張  | シャルピー   | 溶接最高硬さ | COD | RCT |
|-----|-----------|----|---------|-----|---------|--------|-----|-----|
| I形鋼 | フランジ (IF) | ○  | L, C    | L 2 | L 3 C 3 |        | L 9 | L 9 |
|     | ウェブ (IW)  |    | L, C    |     | L 3 C 3 | L      |     |     |
|     | ネック (IN)  |    | L, C    |     | C 3     |        |     |     |
| 山形鋼 | フランジ (YF) | ○  | C C     | L 2 | L 3 C 3 | L      | L 9 | L 9 |
| 平鋼  | (P)       | ○  | C C     | L 2 | L 3 C 3 |        |     |     |

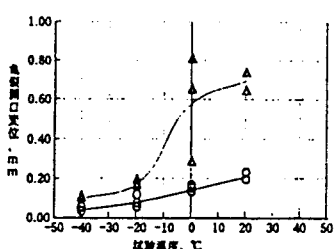


図-4 三点曲げCOD試験結果

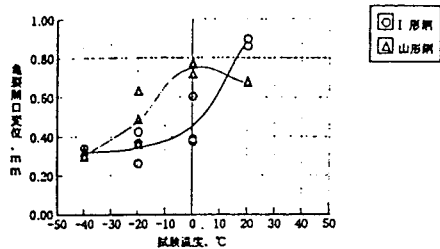


図-5 RCT試験片によるCOD試験結果

表-2 シャルピー衝撃試験からのK<sub>1c</sub>の推定値

| 材料  | 部位    | 板厚mm | YS(MPa) | T(°C) | ΔT(°C) | vE(T+ΔT) | δ <sub>c</sub> (T)(mm) | K <sub>1c</sub> (0°C) |
|-----|-------|------|---------|-------|--------|----------|------------------------|-----------------------|
| I形鋼 | フランジL | 12   | 253     | 80.6  | -80.6  | 8.8      | 0.0088                 | 63.0                  |
|     | フランジC | 12   | 253     | 80.6  | -80.6  | 5.9      | 0.0059                 | 51.6                  |
|     | 首部C   | 12   | 253     | 80.6  | -80.6  | 5.9      | 0.0059                 | 51.6                  |
|     | 首部C   | 12   | 253     | 80.6  | -80.6  | 5.9      | 0.0059                 | 51.6                  |
|     | ウェブL  | 12   | 253     | 80.6  | -80.6  | 7.8      | 0.0078                 | 59.3                  |
|     | ウェブC  | 12   | 253     | 80.6  | -80.6  | 6.9      | 0.0069                 | 55.8                  |
| 山形鋼 | フランジL | 11   | 307     | 74.7  | -74.7  | 7.8      | 0.0078                 | 59.3                  |
|     | フランジC | 11   | 307     | 74.7  | -74.7  | 9.8      | 0.0098                 | 66.5                  |
| 平鋼  | L     | 9    | 279     | 80.1  | -80.1  | 15.7     | 0.0157                 | 84.3                  |
|     | C     | 9    | 279     | 80.1  | -80.1  | 14.4     | 0.0144                 | 80.6                  |

シャルピー衝撃試験の試験温度は0°C、表のTはT=0°C-ΔT

表-3 COD試験からのK<sub>1c</sub>の推定値

| 材料  | 部位    | YS(MPa) | T(°C) | δ <sub>c</sub> (T)(mm) | ΔT(°C) | T+ΔT  | vE(T+ΔT) | K <sub>1c</sub> (T+ΔT) |
|-----|-------|---------|-------|------------------------|--------|-------|----------|------------------------|
| I形鋼 | フランジL | 253     | 20    | 0.200                  | 80.6   | 100.6 | 200      | 300                    |
|     |       | 253     | 0     | 0.130                  | 80.6   | 80.6  | 130      | 242                    |
|     |       | 253     | -20   | 0.060                  | 80.6   | 60.6  | 60       | 165                    |
|     |       | 253     | -40   | 0.040                  | 80.6   | 40.6  | 40       | 134                    |
| 山形鋼 | フランジL | 307     | 20    | 0.650                  | 74.7   | 94.7  | 650      | 542                    |
|     |       | 307     | 0     | 0.300                  | 74.7   | 74.7  | 300      | 368                    |
|     |       | 307     | -20   | 0.180                  | 74.7   | 54.7  | 180      | 285                    |
|     |       | 307     | -40   | 0.110                  | 74.7   | 34.7  | 110      | 223                    |

キーワード：橋、破壊靱性、シャルピー衝撃試験、COD試験、RCT試験

## 文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性,構造特性,耐荷力評価の方法について

文献名：ブロック分割による複線トラス旧橋の解体と使用鋼材の健全度調査

著者名：飯野宗蔵、国枝 聡、須藤英明、高橋 巖

出典名：橋梁と基礎

ページ：21~29

発行年月日：1997.6

発行元：(株)建設図書

要 旨：東京急行電鉄(株)東横線の多摩川橋梁は、大正14年に架設以来約70年間供用されてきた。構造は、低水敷部が複線ワーレントラス(スパン48mx3連)、高水敷部が単線上路鋼板桁(スパン20mx12連x上下2線)である。

複々線化事業に伴い1995年(平成7年)に解体・撤去されたが、その際、撤去材(トラス)の一部から試験片を切り出し、鋼材品質や接合部の性状に関する調査・試験を実施している。

概 要：本橋の調査・試験結果要約は、次の通りである。

- ①鋼材は、当時(大正14年)の鋼材規格に則して製造されており、現行のJIS一般構造用圧延鋼材におけるSS400材に比較的近い。
- ②機械的性質のうち、引張りについては良好であったが、曲げに関しては、圧延工程で生じたと推定される異方性のためか、圧延直角方向における曲げに対して亀裂を生じる場合があった。
- ③衝撃に対する吸収エネルギーは、全般に、現在のJISのSS400材の水準を下回る値であった。当時の鋼材は、現在の製品よりタフネス(じん性、粘り強さ)が低い傾向にあることを十分留意しておく必要がある。
- ④化学分析によれば、当鋼材は「リムド鋼」と推定され、炭素の含有量を増して強度を高めている。これは衝撃に比較的弱いという試験結果を裏付けており、溶接に適した材料とは言い難い面がある。
- ⑤部材の接合部(リベット周辺)は健全であり、当時の施工技能や維持管理の状態がうかがわれた。
- ⑥今後、各種老朽鋼建造物の延命化や耐震性向上などの工事においては、鋼材の種類に関し適切かつ慎重な検討を進めることが重要である。例えば、今回の調査結果に記したように溶接の影響を照査し、補強材の取付にはなるべくボルト接合を採用するなどの配慮が必要と思われる。
- ⑦溶接補強に支障ないと判断された部材でも、疲労蓄積や再溶接による「のど厚の増加」などが新たな影響要因となる場合があり、十分な事前検討が望ましい。

キーワード：トラス、経年鋼建造物、健全度調査

| 文献整理票   |             |
|---|-------------|
| WG1：古い構造物の材料特性,構造特性,耐荷力評価の方法について  |             |
| 文献名：26年間供用した我が国最初の80キロ鋼橋<br>—京葉道路花輪跨道橋—   |             |
| 著者名：西部 剛、木水隆夫   |             |
| 出典名：橋梁と基礎   | ページ：10~14   |
| 発行年月日：1995.10   | 発行元：(株)建設図書 |
| <p>要 旨：花輪跨道橋は、昭和39年10月に供用を開始した京葉道路花輪インターチェンジのインターチェンジ橋で、我が国で80キロ鋼を使用した実橋としては初めての橋梁である。(鋼単純板桁,有効幅員6.5m,支間長29.1m)</p> <p>平成2年3月に路肩拡幅などの工事の為撤去・解体され現在保管されているので、110千台/日(平成2年)もの重交通下で26年間供用された本橋の劣化状況や疲労損傷状況を把握するための健全度調査をおこなうとともに、実験橋としての妥当性の検証をおこなっている。</p>  |             |
| <p>概 要：本橋の特色は次の通りである。①主桁に80キロ鋼(川鉄リバエースK-O)を使用したこと。②床版に軽量骨材(メサライト、粗骨材のみ)を使用したプレキャスト床版を採用したこと。③主桁の現場継手にF13Tハイテンボルト(JIS4種、大同製鋼製ハイテンボルト)を使用したこと。④橋面舗装にゴムアスファルトの薄層舗装(設計厚10mm)を採用したこと。</p> <p>建設当時の設計・施工の状況は上記に関連して以下の通りである。①80キロ鋼は主桁中央部分に使用され、端部へいくに従い60,50キロ鋼が使用されている。80キロ鋼の断面は、たわみ1/500から決定されているため、応力度は60キロ鋼の許容応力度を幾らか上回る程度であった。橋梁への適用が初めてであったため、あらかじめ溶接部の曲げ試験,引張り試験等を行って問題のない事を確認している。②1パネルの寸法は7.1mx2.5mで、裏面に縦横にリブをつけ、リブ間の床版厚は12cmとした。③F13Tハイテンボルトに遅れ破壊が発生し、昭和48年頃F11Tにすべて取り換えられた。</p> <p>健全度調査結果の主な内容は、次の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・主桁については、一部垂直補剛材と水平補剛材との回し溶接部に亀裂が認められたが、その他は非常に健全であった。特に、80キロ鋼を使用した箇所についても、遅れ割れや疲労亀裂はなく健全であった。</li> <li>・横桁については、フランジとウェブの隅肉溶接部及び横桁中央のフランジと垂直補剛材の溶接部に数箇所疲労が原因と考えられる亀裂が生じていた。これは床版のたわみ変形により、この付近に面外方向の曲げが生じ応力集中したためと考えられる。</li> <li>・主桁では垂直補剛材の横桁取り合い部と水平補剛材で雨水が原因と考えられる腐食が生じている。</li> <li>・床版にはごく小規模の剥離やそれに伴う鉄筋の露出はあるが、全体として健全な状態であった。</li> </ul> |             |
| キーワード：高張力鋼、高張力ボルト、健全度調査   |             |

文献整理

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：鉄鋼材料の組織から機械的性質を予測する手法の現状と課題

著者名：梅本 実

出典名：鉄と鋼 Vol.81, No.3

ページ：pp.157~166

発行年月日：1995年3月

発行元：

要旨：

圧延鋼板などで盛んに試みられている「材質予測」の重要課題として、鉄鋼材料の組織と機械的性質の関係がある。Hall-Petchの関係が見出されて以来、組織と機械的性質の関係を定量的に評価する試みが数多くなされ、現在組織が機械的特性に与える影響について定性的にはほぼ理解できる段階にある。しかし、組織から機械的性質を定量的に求めるにはほど遠いと言うのが実感である。

概要：

本文では鉄鋼材料の組織と機械的性質に関する研究の現状について、室温での引張試験に焦点を合わせてまとめた。鉄鋼材料の組織をフェライト、パーライト、ベイナイト、マルテンサイトの単一組織とそれらの複合組織に分類し、各組織の機械的性質に影響を及ぼす因子について述べた。次に実用性を重視するという観点から、合金元素や組織因子と降伏応力や引張強度などの機会的諸性質または応力-歪曲線との関係を定量化した式をまとめた。さらに、組織から機械的性質を定量的に計算する際の現状の問題点について、組織の測定精度・測定時間などを中心に指摘した。

Table 6はフェライト・パーライト鋼の共通資料を使って測定した機械的性質と組織の測定結果である。同表の上半分に示す降伏応力、引張強さ、破断伸びと言った機械的性質の測定結果のばらつきは小さく、標準偏差(B)/平均値(A)の値は5%以下である。一方、パーライト体積率(fp)やフェライト粒径(dr)といった最も一般的でなじみの深い組織因子の定量化においては、B/Aが7~16%に及び測定者間で大きなばらつきがあることが認められた。ちなみに、組織の定量化にあたっては、①同一試験片から切り出した光学顕微鏡用観察資料を研磨、腐食し観察する方法、②同じネガから焼き付けた光学顕微鏡組織写真を使って画像解析装置により組織の定量化を行う方法、の2通りの手法をとった。

Fig. 6は組織因子の測定では、対象の大きさに逆比例して長い時間を要する状況を模式的に表したものである。組織としては、光学顕微鏡で測定できる粒径や各相の体積率を初めとして、透過電子顕微鏡で測定する転位密度や析出物などがあるが、測定精度は対象が小さくなるほど悪くなることが予想される。

Table 6. Standard deviation in the results of tensile test and microstructural measurements done by 6 major Japanese companies.

Ferrite · pearlite structure  
Fe - 0.25C - 0.04Si - 1.50Mn 1000°C×10min→650°C×30min

|                      | Average(A) | Standard deviation(B) | B / A (%) |
|----------------------|------------|-----------------------|-----------|
| YS N/mm <sup>2</sup> | 339        | 7.0                   | 2.1       |
| TS N/mm <sup>2</sup> | 532        | 9.0                   | 1.7       |
| T.El %               | 31.8       | 1.46                  | 4.6       |
| fp % (spe.)          | 44.3       | 3.9                   | 8.8       |
| φ (photo.)           | 44.8       | 3.4                   | 7.6       |
| dr μm (spe.)         | 12.0       | 1.9                   | 15.8      |
| φ (photo.)           | 11.6       | 1.4                   | 12.1      |

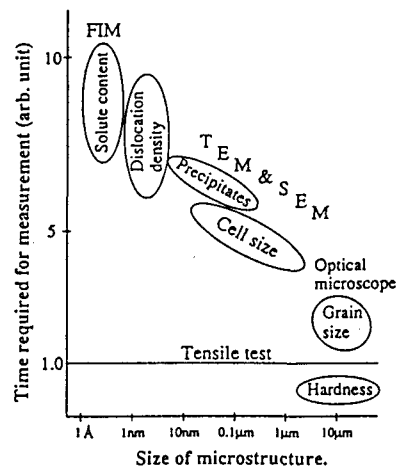


Fig. 6. Schematic diagram showing the size of microstructure vs. time required for measurement.

キーワード：鉄鋼材料、組織、機械的性質、引張強度、応力-歪曲線、定性化、定量化

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名： 1 鋼材および溶接部の材質・強度予測\*

著者名： 梅本 実\*\*

出典名： 溶接学会誌 第65巻(1996)第7号      ページ： PR 547~551

発行年月日： 1996年      発行元： (社) 溶接学会

要 旨：

鉄鋼材料の機械的性質をその組織から予測する場合の子測精度は一般に良くない。この主たる原因は組織の定量化の精度が不十分であるからである。このことは組織の定量化を伴わない材質予測の方法が必要であることを意味している。材料の組織の測定を伴わない強度予測の方法の一つとして著者は材料強度熱力学を提案した。これは材料の強度が組織の自由エネルギーの平方根に比例すると考えられること、および相変態を通して作製される材料における組織のエネルギーは相変態の駆動力とある一定の関係があるという2つの原則の上に立つ。この

2つの原理から材料の強度は相変態の駆動力の平方根に比例するという関係が予想され、実際パーライト鋼でこのことが確かめられた。今後相変態の理論から変態によって形成される組織が今以上に精確に予測されるようになるであろう。特に非平衡熱力学を使った変態組織の理論が進めば、変態の駆動力や母相の状態から変態生成物に残る格子欠陥の種類と量が見積れ、これを基にした強度予測がより発展するものと期待される。

概 要

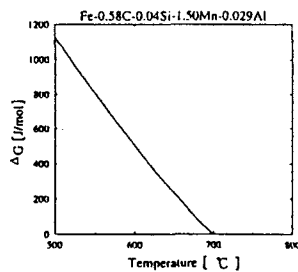


図3 Fe-0.58C-0.045Si-1.50Mn-0.029Al合金におけるパーライト変態の駆動自由エネルギーの温度変化。

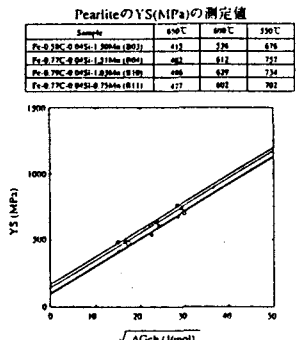


図4 種類のパーライト鋼の降伏応力と $\Delta G_{ch}$ の関係。パーライト変態は650、600、550°Cの各温度で等温保持によりおこなった。

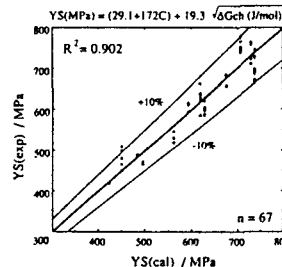


図5 パーライト鋼の降伏応力の実測値と $\Delta G_{ch}$ による予測値の比較。

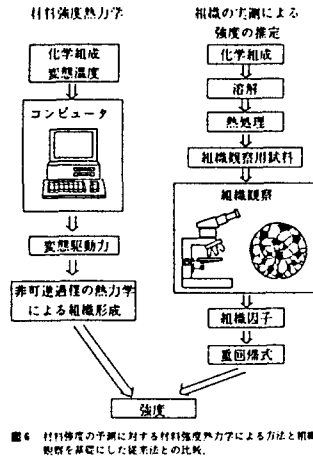


図6 材料強度の予測に対する材料強度熱力学による方法と組織観察を基礎にした従来法との比較。

キーワード： 材料強度、組織、熱力学、変態、駆動力、結晶粒界、転位

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名： **金属・材料の磁性と検査・物性**  
 —磁性を測ってわかること・使いみち—

著者名： 山部 恵造

出典名： 金属 Vol.68 (1998) No.7 ページ： PP.603～610

発行年月日： 1998年 発行元： アグネ

要 旨：

磁性材料の研究・開発は、現在非常に盛んであるが、それに関連して、材料の磁性を測ることが、その材料の他の物性に関する検査・分析や、それに役立つ探針(probe)になりうることも注目すべき一面である。そうしたいくつかの最近の事例を、磁性研究の持つ多彩な面から見てみたい。

概 要

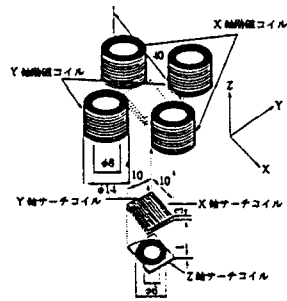


図1 新しい磁気センサの構造 (概要)

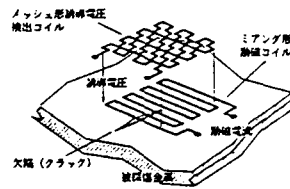


図2 プレーナ形渦電流探傷プローブの構成

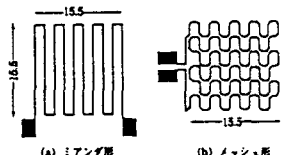


図3 プレーナ形渦電流探傷プローブ用ミアンダ/メッシュ形コイル  
 いずれもコイルの線幅：0.42mm、コイルの線間隔：1.25mm

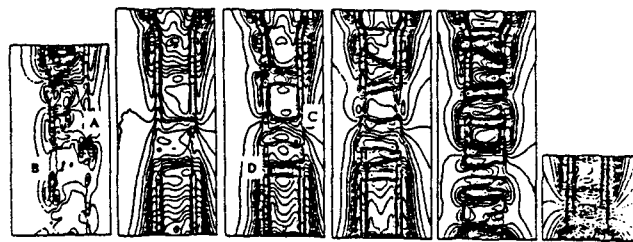


図4 炭素鋼の磁束密度。M1にはスポット的模様(A, B)が現れているが、これは磁性域内の荷重(2MPa)後に消失した(M2)。M3では明らかな縦模様(C, D)が現れ、M4～M5と本数が増え、試料全体に広がっていく。磁性領域に達すると縦模様は消失し磁場は一様になる(M6)。

キーワード： 磁気, センサ, 磁束, 磁気顕微鏡, 核磁気共鳴, X線CT-30果

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：

超音波顕微鏡による材料評価

著者名：

石川 潔

出典名：

金属 Vol.67 (1997) No.10

ページ：

pp. 823 ~ 830

発行年月日：

1997年

発行元：

アジテ

**要 旨：** 最近，細く収束した超音波ビームを試料に対し二次元に照射し，試料からの反射超音波を信号処理して画像を得ようとする，いわゆる機械走査型超音波顕微鏡<sup>1)</sup>の技術が実用化され，非破壊検査手段として多方面で利用されるようになった．この装置が重要視されている背景は，光学顕微鏡や電子顕微鏡に比べて，はるかに物体内部の情報が描画できるからである．このことは機械・電子部品などの欠陥，剥離，き裂の検出に威力を発揮している．また高分子材料の分野では，混合物の分散・凝集状態の観察，炭素繊維強化材料の繊維配向性の観察も行われている．

さらに反射音圧特性が単に画像コントラストの形成だけではなく，材料表面の弾性的性質を反映していることがわかり，工業計測にも利用されるようになってきた．

本稿では，超音波顕微鏡の概要と代表的な応用例を紹介して，材料評価への可能性について述べる．

概 要

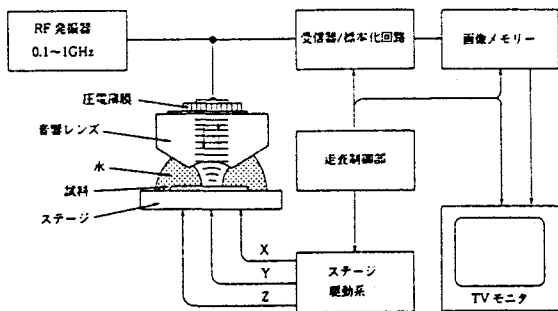
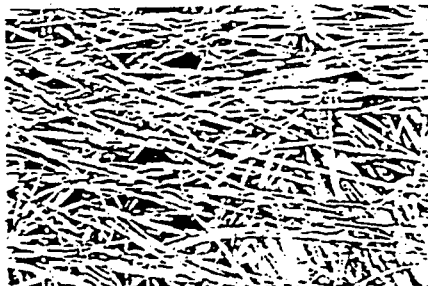


図1 超音波顕微鏡の構成



(b) 約40 μmの深さの像

写真1 ガラス繊維充填複合材料の観察

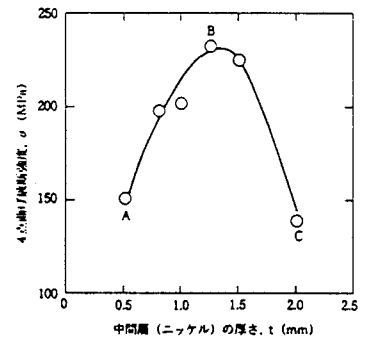


図5 接合体の4点曲げ試験による破壊強度の測定

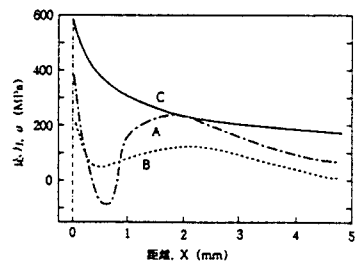


図7 接合体の残留応力と接合界面からの距離との関係．A, B, Cは中間層(ニッケル)の厚さ(A:0.5mm, B:1.25mm, C:2.0mm)

キーワード：超音波，音速，弾性表面波，非破壊検査，剥離，包装，加工変質



文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：超音波を用いた材料の損傷・劣化評価

著者名：中代 雅士

出典名：金属 Vol.68 (1996) No.8

ページ：PP. 701~710

発行年月日：1998年

発行元：アグネ

要旨：

非破壊検査には、目視、浸透探傷検査(PT検査)、レプリカなどによる直接的観察と、磁気、超音波、電気抵抗など劣化損傷による物性値変化を利用した間接的観察がある。この間接的検査技術の中で、クリープ損傷や水素浸食のような構造材内部に損傷が発生するものに対して超音波計測技術は最も有力だと考えられている<sup>6)7)</sup>。超音波技術を用いる利点としては、

- ①現地で非破壊的に検査できる。
  - ②構造材内部の検査ができる。
  - ③レプリカ、X線等と比較して短時間で広範囲の調査が可能である。
  - ④ヤング率、ポアソン比、密度などの物性値変化に対応して超音波特性も変化するので、物性値を計測するより超音波特性を計測する方が簡単である。
  - ⑤ロボット等の自動計測装置の開発により広範囲の検査計測が容易である。
- ことなどである。  
これらの長所を生かした超音波による構造部材の損傷・劣化の評価技術を紹介する。

概要

表1 超音波特性による構造材料の損傷・劣化計測法

| 計測法              | 測定項目と方法                |
|------------------|------------------------|
| 音速計測法            | 音速値の変化                 |
| 減衰測定法            | 減衰値の変化量、反射波・透過波の振幅値の変化 |
| 散乱波法             | 散乱波(林状エコー)の振幅とその種類     |
| 臨界角反射法           | 斜め入射した超音波の反射振幅(臨界角)の変化 |
| 周波数分析法           | 周波数分布特性の変化             |
| 後方散乱波分析法(ノイズ分析法) | 散乱波(林状エコー)周波数分布特性の変化   |

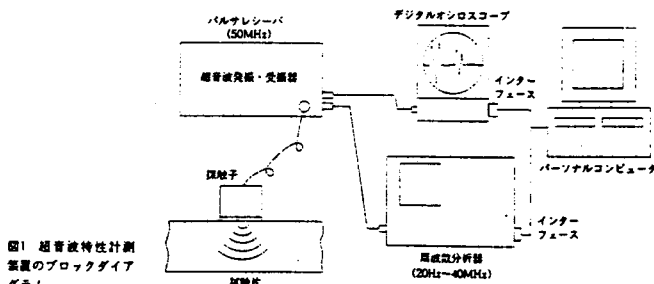


図1 超音波特性計測装置のブロックダイヤグラム

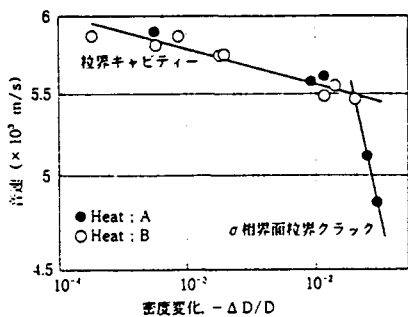


図5 SUS304鋼のクリープ損傷による密度変化と音速の関係\*

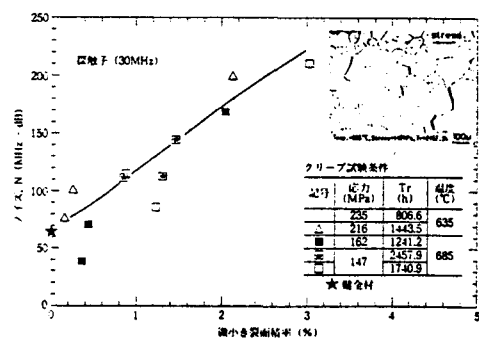


図12 SUS321鋼クリープ破断材の表面微小き裂面積率とノイズ値の関係(探触子30MHz使用、板厚5mm)

キーワード：超音波，損傷，劣化，音速，減衰，周波数，クリープ，微小き裂，キャビティ

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名： ① レーザ超音波と非接触材料評価\*

著者名： 山 脇 寿\*\*

出典名： 溶接学会誌 第64巻(1995)第2号

ページ： pp. 104 ~ 108

発行年月日： 1995年

発行元： (社) 溶接学会

要 旨：

レーザー超音波とは，レーザー光を用いて，主に固体に対する超音波振動の発生と検出を非接触で行う技術である。光を用いて完全非接触で超音波を送受信できるため，圧電素子などを用いる従来の超音波送受信法では適用の難しい高温中の材料や，水や油などの超音波計測用媒体に浸すことが難しい材料など，各種環境下のより多くの材料に対して，非破壊検査や超音波計測が可能になると期待されている。

レーザー超音波においては，超音波の送信と受信は原理の全く異なる技術である。超音波の発生にはレーザー光エネルギーの試料への吸収加熱を利用するのに対し，超音波の受信ではレーザー光の干渉性や直進性を利用して試料表面での超音波振動を検出するものである。いずれの技術も，レーザー光の実用化とともに研究が始められ，実験室において様々な研究，利用されてきた。ここでは超音波の送信，受信技術について各々の概要と最近の話題について述べ，さらに，それらを用いた材料評価への応用について紹介する。

概 要

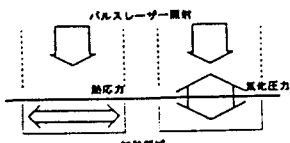


図1 パルスレーザー照射による弾性波発生2つのモード。

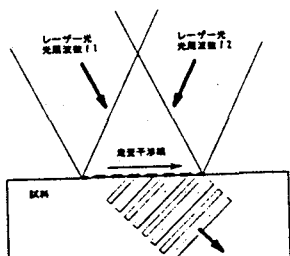


図4 レーザ干渉線走査による一定周波数の縦波，横波，表面波の選択的発生。干渉線の移動速度を表面波に一致させると表面波が強く発生する。

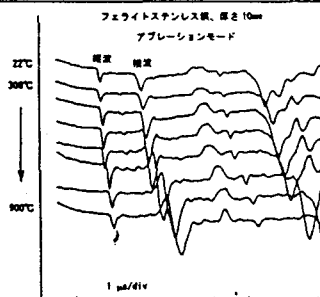
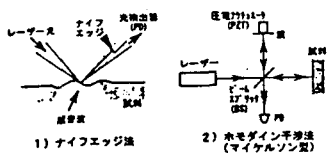
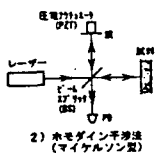


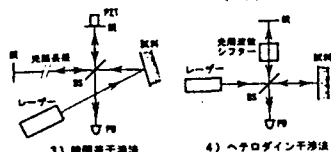
図7 加熱炉中の厚さ10mmのステンレス鋼での，温度によるレーザー超音波変位波形の変化。試料中に伝播した縦波と横波の到達時間が温度上昇とともに遅れ，音速が低くなるのがわかる。



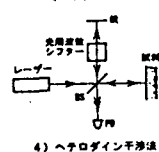
1) ナイフエッジ法



2) ホモダイナミック干渉法 (マイケルソン型)



3) 時間遅延干渉法



4) ヘテロダイナミック干渉法

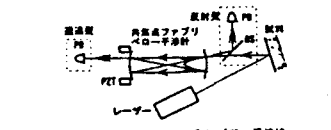


図5 レーザ超音波に用いられる代表的な超音波検出法の光学系の構成。

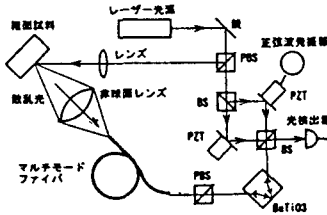


図6 バードウィング型の位相共役鏡を用いたホモダイナミック干渉法による粗面試料での超音波検出。不要な位相共役鏡の発生を抑えるため，PZTを用いた低周波位相変調が組み込まれている。

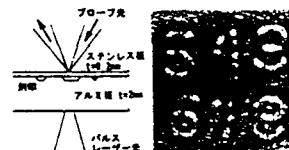


図8 光ヘテロダイナミック干渉法をもちいたレーザー超音波による表面モジュール欠陥の画像化。試料を走査して超音波強度をマッピングした。アーク点数は256×256，画像サイズは5mm角。検査面の刻印された数字の像が観察されている。

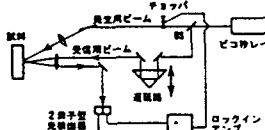


図9 ピコ秒レーザーを用いた超高速超音波の発生と検出<sup>1)</sup>。2素子型光検出器を用いてビーム反射角の変化を捉えている。遅延線の走査により受信用レーザーパルスの照射タイミングを定直し時間波形を得る。チョッパーによるビームの断続とロックインアンプはS/N改善に用いる。

キーワード：

レーザー超音波，非接触計測，非破壊検査，超音波計測，レーザー干渉計，欠陥検査，音速測定，材質評価

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：走査型超音波顕微鏡と超音波探査映像装置による材料評価

著者名：小鯛 亜紀      森 崇      苧野 兵衛      岡崎 章三

出典名：川崎重工技報・122号      ページ：p. 74 ~ 79

発行年月日：1994年7月      発行元：川崎重工

**要 旨：**  
 材料の研究開発には様々な分析装置が必要である。新しい分析装置の開発や、分析技術の進歩によって、新たな情報が得られることにより、研究開発が促進される。  
 現在、材料評価のためには、検出手段として可視光、レーザー光、電子線、X線、超音波などを利用した種々の分析装置が使用されており、目的によって使い分けられている。本報告で紹介する走査型超音波顕微鏡と超音波探査映像装置は、いずれも超音波を検出手段とするもので、物質表面から内部までの音響特性を反映した画像を非破壊で得ることができる。また、超音波顕微鏡には透過型と反射型があって、一般には主として反射型が使用されており、本報告で述べる超音波顕微鏡も反射型であるが、反射型の超音波顕微鏡では微小領域での弾性表面波速度を測定することができる。以上のような特徴により、超音波顕微鏡および超音波探査映像装置は内部観察や微小領域での物性変化の検出への適用が期待され、高分子材料、複合材料、金属、セラミック等、各種材料の評価が試みられ、他の分析装置では得られなかった情報が得られている。しかし、これらの装置は開発されてから日が浅く、その適用可能性や分析方法についてはまだ十分には確立されておらず、種々の研究が進められているところである。当研究部では現在、超音波顕微鏡および超音波探査映像装置を新しい材料評価手段として用い、材料の研究開発に活用している。これについて報告する。

概 要

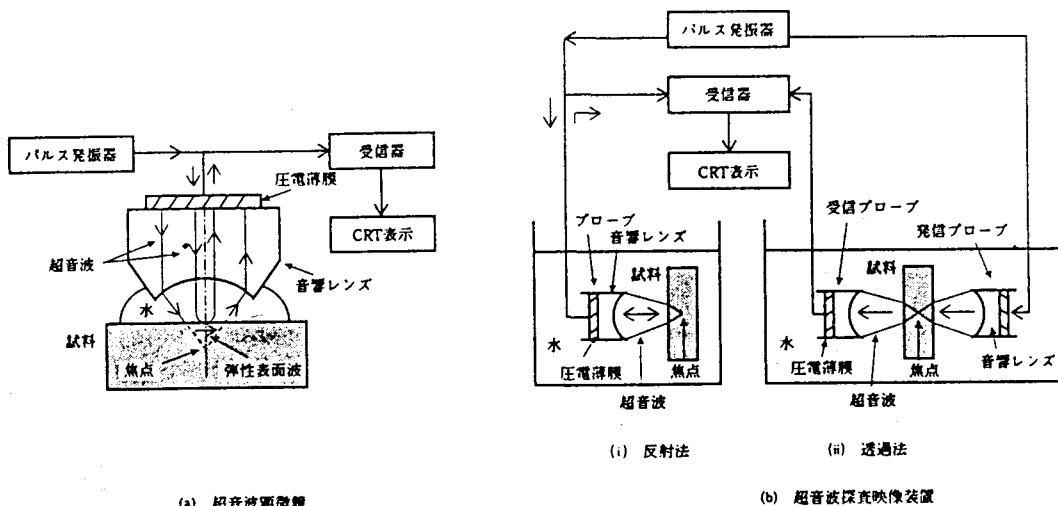


図1 装置の原理

表1 超音波顕微鏡および超音波探査映像装置の適用例  
 Table 1 Examples of possible applications for SAM and AT

| 観察・検出内容   | 得られる情報                   |
|-----------|--------------------------|
| 固体表面の観察   | 金属組織、結晶方位                |
| 表面微小き裂の観察 | セラミックス靱性評価、微小き裂進展挙動      |
| 固体表面下の観察  | 金属素材・セラミックスの欠陥・不均質       |
| 薄膜下の観察    | 薄膜の密着性(はく離)、薄膜下の欠陥(き裂)   |
| 複合素材の内部観察 | 層間はく離、製造欠陥、繊維配向          |
| 音速測定      | 金属加工変質層、熱変質層、硬化層、接合部残留応力 |

キーワード：超音波、顕微鏡、映像、反射率、音速、結晶方位、焼戻し温度、き裂

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名： **最近の超音波画像技術**

著者名： 小倉 幸夫

出典名： 金属 Vol.68 (1998) No.8

ページ： pp. 694~700

発行年月日： 1998年

発行元： アフネ

**要 旨：**

以上，超音波画像技術の現状及び電子部品や樹脂などへの応用例について述べた。最新の高性能装置および高分解能探触子を使用すれば，隙間5nm程度の剥離および径10 $\mu$ m程度のボイドの検出が可能である。

超音波画像法は，本稿で述べた以外に，材料の加工変質層の検出，接合部の厚さ計測，薄膜内のき裂評価，疲労及び熱劣化評価など多方面で応用が図られつつあり，その用途はますます広がる傾向にある。今後とも重要な非破壊検査技術として発展することが期待される。

概 要

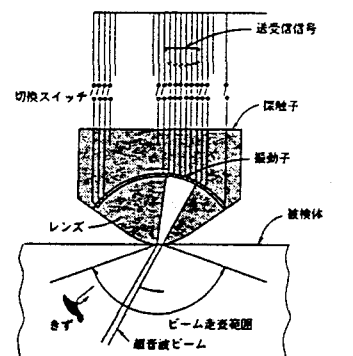


図4 アークアレイ探触子を用いた電子走査システム

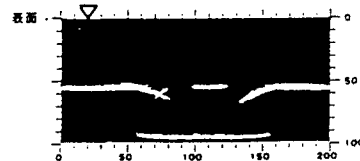
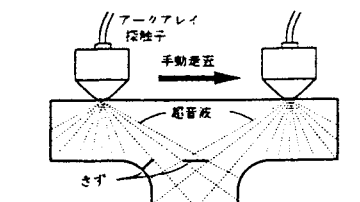


図5 時間同期式蓄積Bスコープ表示例



写真12 ハンディタイプ超音波探傷器

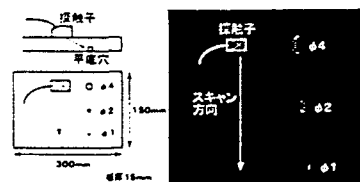


図6 ポータブル探傷器を用いたCスコープ画像例

キーワード：超音波，画像装置，電子走査，探傷器，き裂，界面，非金属材料

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名 レーザスペckルセンサーを用いた鋼材の疲労損傷の評価  
 ——疲労によるスペckルパターンの変化——

著者名： 加藤 章\* 伊藤 孝治\*\*

出典名「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol. 45, No. 3 ページ： pp. 346-351.

発行年月日： Mar. 1996 発行元：(社) 日本材料学会

**要 旨**：本研究では、鋼材試験片に一軸引張りの繰返し荷重を加えた場合のレーザスペckルの輝度分布の変化について調べてみた。本研究で使用した延性の大きい鋼材では、荷重繰返し数の比較的初期にスペckルの輝度分布は広がり、その後広がりの増加の割合が小さくなり、破断の寸前にふたたび急激に広がる傾向があることがわかった。応力振幅が大きいほど塑性ひずみが大きくなるのでレーザスペckルの広がりは大きく、繰返し数に対する広がりの増加も大きい。ほぼ良く似た傾向があることがわかった。一様応力状態の実験結果では疲労のかなり初期段階でスペckルパターンの変化がみられ、疲労損傷の検出ができる可能性があることがわかった。

また円孔を持つ平板試験片で実験を行なった場合、焼なましを行わない場合には円孔縁でスペckルの分布の変化を観測することによりすべり帯の発生による表面状態の変化を検出できることがわかった。また、すべり帯の発生が軸方向に対して垂直方向に横状になっているのに対してスペckルの輝度分布も方向性を持つようになることがわかった。

焼なましを行なった場合にはすべり帯の発生が局所化し、かつその発生部分が応力集中が最大となる円孔端から少しずれていたため、観測箇所を特定することが難しく、本方法によって疲労損傷を検出することが困難であった。

概 要

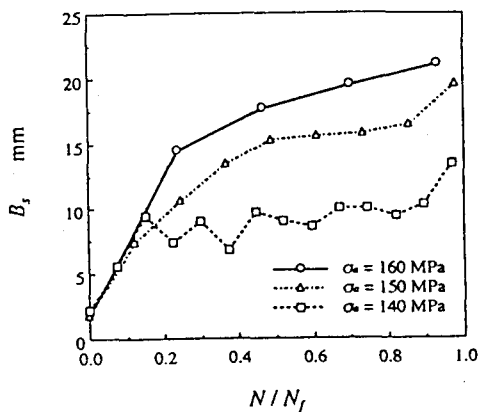


Fig. 5. Width of speckle distribution  $B_s$  versus stress cycles  $N$  (Specimen with side notches).

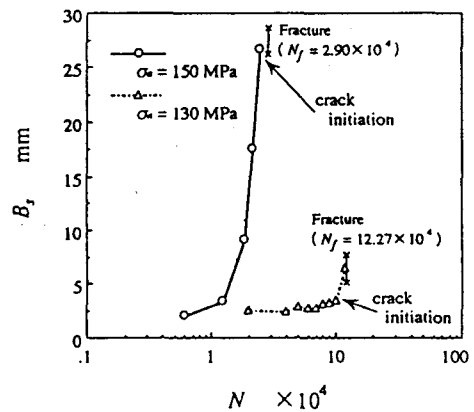


Fig. 6.  $B_s$ - $N$  relation (Specimen with a center hole, no annealing).

キーワード： Nondestructive inspection, Optical measurement, Fatigue damage, Laser speckle sensor, Steel, Image processing, Slipband

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：マイクロマテリアル

5. マイクロマテリアルの機械的特性評価法\*

著者名：箕島 弘二\* 駒井 謙治郎\*

出典名「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol. 47, No. 4 ページ： pp. 427-433.

発行年月日： Apr. 1998 発行元：(社)日本材料学会

要旨：

マイクロマシンやマイクロエレクトロメカニカルシステム (MEMS) などのマイクロシステムの研究・開発においては、マイクロアクチュエータなどの加工技術について精力的に研究が行われているが、信頼性のある寿命予測の可能なシステムを開発するためには、実際に使用されるサイズのマイクロマテリアルの疲労特性を含む機械的特性を把握することが必要不可欠である。とくに近年では従来は機能材料として用いられてきた薄膜が構造材として用いられ、製造法に大きく依存する、内部応力の制御やその機能設計の基本となる弾性係数などの機械的

特性が重要であるにもかかわらず、その測定対象が小さいこともあり、未だにその標準的試験法は確立されていない。ここでは、とくにマイクロシステムの要素として用いられる  $\mu\text{m}$  オーダのマイクロエレメントを対象として、内部応力や弾性係数、破壊強度試験の実際とその将来動向について解説する。

概要

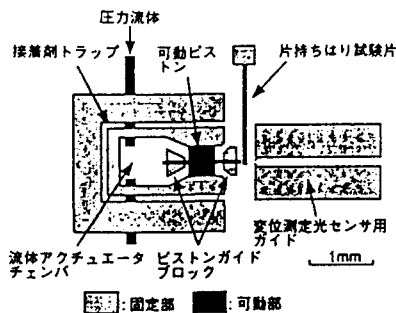


図8 LIGAプロセスにより作成した流体駆動アクチュエータを用いたマイクロテストシステムの模式図

表I マイクロマテリアルの機械的特性評価手法

| 方法              | 測定対象               | 材料      |
|-----------------|--------------------|---------|
| 基板のそり           | 内部応力               | 薄膜      |
| 薄膜を基板より分離した後の変形 | 内部応力               | 薄膜      |
| 座屈              | 内部応力               | 薄膜      |
| X線回折            | 内部応力               | 薄膜      |
| ラマン分光法          | 内部応力               | 薄膜      |
| パルジ法            | 内部応力、弾性係数          | 薄膜      |
| 固有振動法           | 弾性係数               | 薄膜、微小はり |
| 曲げ試験            | 応力-ひずみ関係、弾性係数、破壊応力 | 薄膜、微小はり |
| 単軸引張試験          | 応力-ひずみ関係、弾性係数、破壊応力 | 薄膜、微小はり |

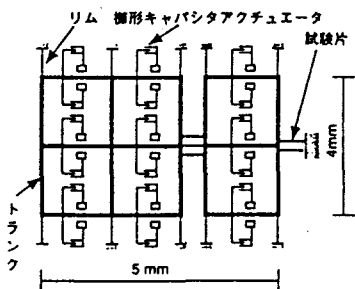


図9 筒形キャパシタを利用した mN オーダの荷重を負荷可能なマイクロテストシステムの模式図

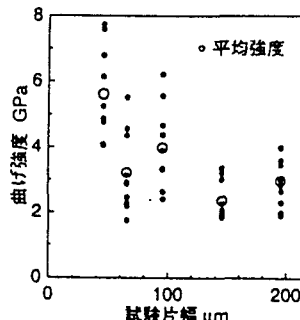


図10 Si 単結晶微小片持ちはりの破壊強度と試験片幅の関係 (厚さ：30 $\mu\text{m}$ )

キーワード：Micromaterial, Microelement, Micromechanical testing, Intrinsic stress, Elastic modulus, Fracture strength, Mechanical testing machine, Environmental strength

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：マイクロ組織定量化による余寿命診断方法の開発<sup>†</sup>

著者名： 小山輝夫\* 田村広治\*\* 宮口賢司\*\*\*  
中野 仁\*\*\*\* 渡部照継\*\*\*\*\*

出典名「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol. 44, No. 496. ページ： pp. 90-95.

発行年月日： Jan. 1995

発行元：(社) 日本科学社

要 旨： 時効支配型のクリープ寿命評価を目的に、加熱時効によるマイクロ組織変化を画像処理装置を用いて定量的に評価した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) マイクロ組織を定量的に評価するパラメータとしてマイクロ組織画像で黒く見える低濃度部の面積率を提案し、時効条件との関係を明らかにした。

(2) マイクロ組織定量化法により全損傷域のクリープ寿命診断が可能になり、これを利用した余寿命診断法を提案した。

概 要

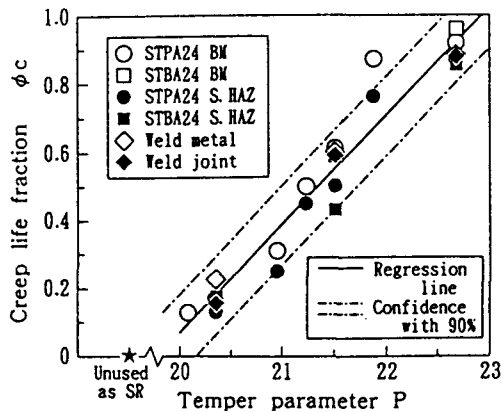


Fig. 8. Relation between temper parameter and creep life fraction.

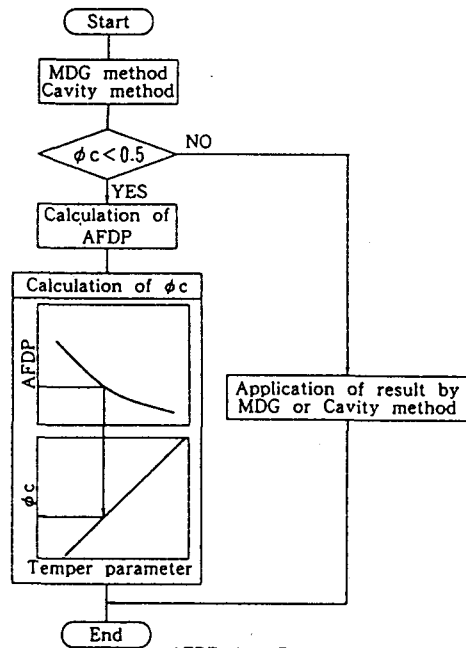


Fig. 9. Procedure of residual life evaluation using quantitative assessment of microstructure.

キーワード： Boiler plant, Life evaluation, Creep life, Aging, Microstructure, Image analysis

文献整理票

WG1 : 古い構造物の材料特性, 構造特性, 耐荷力評価の方法について

文献名 : ④ バルクハウゼンノイズ法による非破壊材料評価\*

著者名 : 古屋 泰文\*\*

出典名 : 溶接学会誌 第64巻(1995)第2号 ページ : pp.120~125

発行年月日 : 1995年 発行元 : (社) 溶接学会

**要 旨 :**

鉄鋼材料やNi合金などの強磁性体の材質と強度を非破壊評価(NDE)するために, ミクロな磁気的信号(雑音)に着目したバルクハウゼンノイズ<sup>1)</sup>(以下, BHN)法の可能性が検討されている<sup>2-4)</sup>. これまでに鉄鋼材料での結晶粒<sup>5)</sup>, 炭化物形態<sup>6)</sup>, 発電用低合金CrMo系鋼材質劣化<sup>7)</sup>, 疲労損傷過程<sup>8)</sup>, 溶接部を含む残留応力の評価<sup>9)</sup>などへの適用の可能性が明らかになって来ている.

本解説では, BHNを利用した研究例を, その原理から溶接部材を含む実験結果を交えて紹介する. そして, この新しい非破壊評価法としての特徴, 可能性, さらには今後の課題などについて述べる.

概 要

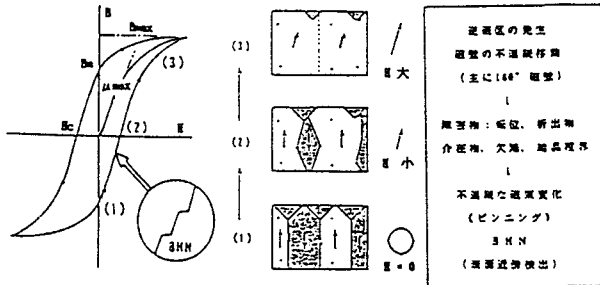


図1 磁化過程での磁壁の動きとBHN発生

表1 バルクハウゼンノイズ(BHN)法の適用分野と特徴<sup>1)</sup>

| 適用区分(検査対象)  | 対象   | BHN法の適用例              |
|-------------|--|-----------------------|
| (1) 残留応力    | 外観応力の欠陥  | ストレインゲージ代替<br>磁気的応力測定 |
| (2) 疲労応力    | マイクロ組織の炭化<br>内腐蝕   | X線解析代替<br>磁気的応力測定     |
| (3) ミクロ組織検査 | マイクロ組織の炭化および<br>炭化物の応力測定   | 熱処理効果検査<br>炭化物の測定     |
| (4) その他     | <input type="checkbox"/> 磁気特性 <input type="checkbox"/> 測定長さ(1~0.3mm, 磁化距離に依存)<br><input type="checkbox"/> 応力評価可能 <input type="checkbox"/> 透過観察可能 <input type="checkbox"/> 100%測定以下のみ |                       |

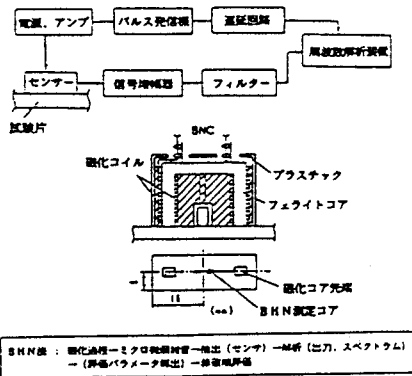


図3 BHN測定装置とセンサーの構成

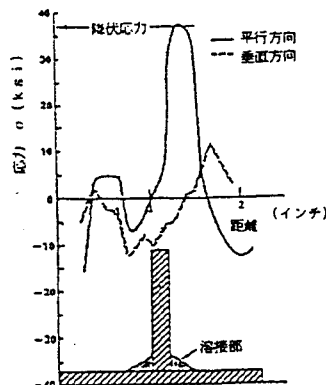


図7 T線ぞ手溶接部での応力除去前後での縦・横方向の応力分布測定例<sup>1)</sup>

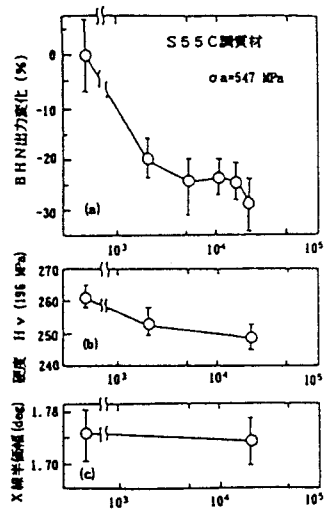


図11 0.55C鋼質鋼での疲労繰り返し致に伴うBHN出力, 硬度およびX線半幅幅の変化<sup>11)</sup>

キーワード : 非破壊評価, 磁気, バルクハウゼンノイズ, センサ, 残留応力, 材料評価, 損傷劣化, 強磁性体, 周波数解析



文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：バルクハウゼンノイズを用いた材料評価 その1  
 -バルクハウゼンノイズ法の基礎-

著者名：伊藤 勇一、古屋 泰文

出典名：非破壊検査 45巻 1号

ページ：pp. 3~7

発行年月日：1996年1月

発行元：

要 旨：

鉄鋼やNi合金など強磁性体材料では、材料内部の介在物や欠陥などにより、外部磁界の変化を受けるとパルス的な磁気ノイズが発生する。これがバルクハウゼン効果（1919年Barkhausenが発見）である。

このバルクハウゼンノイズ（BHN）は金属の非常にマイクロな組織因子や応力状態に敏感であり、最近では材料の非破壊評価法として利用した場合、多の非破壊的手法にはないユニークで優れた特性も一部有していることが次第に確認されてきている。

本文ではBHN法の測定原理と材質評価に関する基礎的な研究結果が紹介されている。

概 要

1. BHNの発生原理と測定装置

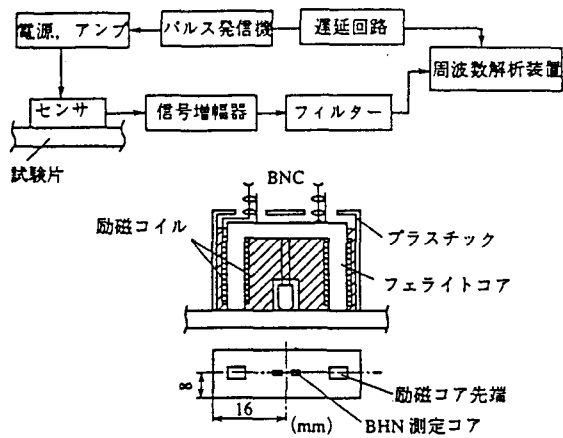


図2 BHN測定装置とセンサの構成

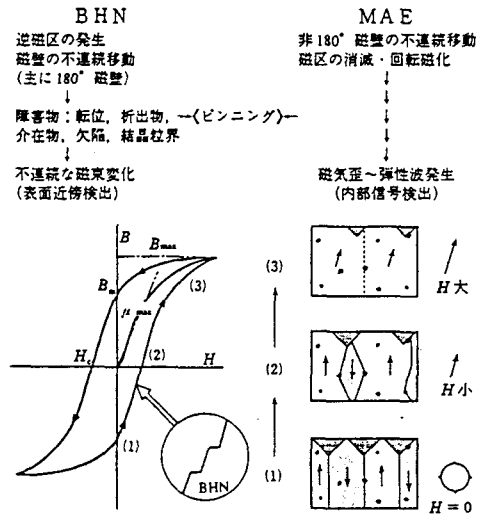


図1 磁気バルクハウゼンノイズ(BHN)及び磁気AE(MAE)の発生機構と強磁性体磁化過程での磁壁の動き(模式図)

2. 鉄鋼材料の組織評価例

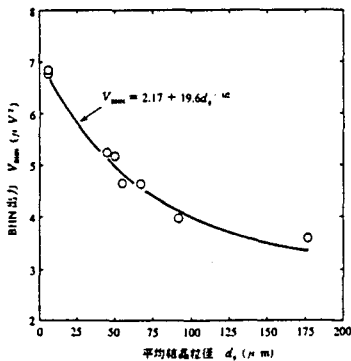


図5 BHN出力と純鉄フェライト粒径の関係

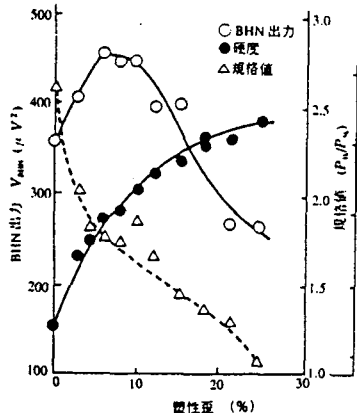


図6(a) 純鉄の引張り塑性ひずみ増加に伴う硬度(Hv), BHN出力(PWA), 周波数波形分布規格値(P10/P5k)

キーワード：バルクハウゼンノイズ、材料評価、材質試験、磁気測定、材質劣化、波形解析、応力測定

文献整理票

WG 1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名： バルクハウゼンノイズを用いた材料評価 その2  
 -バルクハウゼンノイズ法の実実際問題への適用-

著者名：伊藤 勇一、古屋 泰文

出典名：非破壊検査 45巻 2号 ページ：pp. 91~98

発行年月日：1996年2月 発行元：

要 旨：

バルクハウゼンノイズ (BHN) 法の実実際問題の適用例として、実部材への適用・計測例を示すとともに、この方法の新しい非破壊材料評価法としての可能性、特徴、有望分野、今後明らかにすべき研究課題などが解説されている。

概 要

1. 応力評価

BHNが実際の非破壊的計測に実用化されたのは残留応力測定分野。測定深さはX線法よりも10~100倍程度と深く、測定装置も比較的小型に構成できる。BHNは低応力側での高感度測定に有望視されている。

実際の応用例としてKarjalainenらは溶接部の残留応力測定に応用している。また、米国のAmerican Stress Technology 社では接触型磁気センサを組み込んだ携帯型残留応力測定装置を商品化している。

なお、BHN出力は弾性範囲内で主ひずみ (応力) 差に1:1に対応するため、主応力の個々の値は光弾性法と同様にせん断応力差積分法により求める必要がある。また、組織因子、形状などが影響する。

BHN法は測定自体はX線法より迅速・簡便であるので、型鋼などに標準検定曲線を予め作成しておけば非常に効率がよいと考えられる。 【他の測定法との比較を次ページに添付する。】

2. 材質劣化の評価

筆者らの研究結果などを例にして炭素鋼の疲労損傷と低合金鋼での焼き戻し脆化評価例が示された。

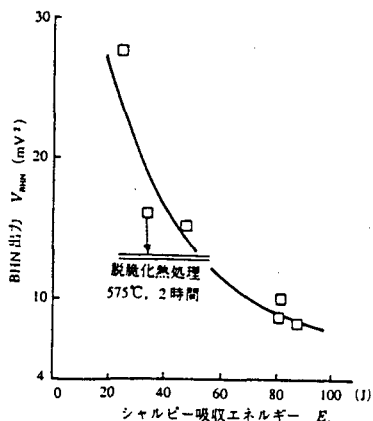


図6 CrMo系合金(NiCrMoV)鋼の焼き戻し脆化に伴うシャルピー衝撃吸収エネルギー値( $E_c$ )とBHN出力変化

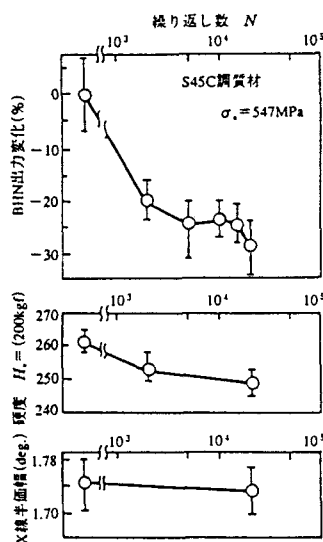


図4 0.55%C鋼での疲労繰返し数に伴うBHN出力、硬度およびX線半面幅の変化

キーワード：バルクハウゼンノイズ、材料評価、材質試験、磁気測定、材質劣化、波形解析、応力測定

表1 各種非破壊評価方法の適用可能範囲(バルクハウゼンノイズ法は斜線部で示される)

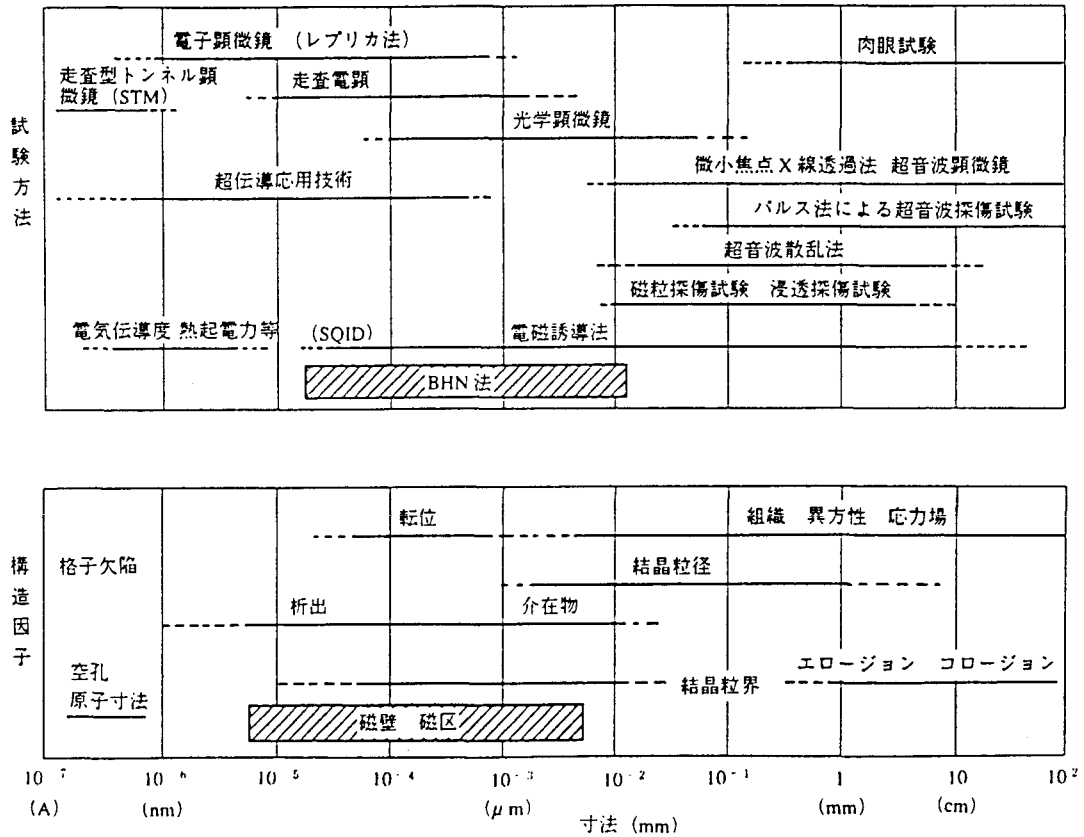


表2 バルクハウゼンノイズ(BHN)法と他の非破壊評価手法の比較

|        | X線応力測定法                                      | 音弾性法  | 磁気ひずみ法  | バルクハウゼンノイズ法                              |                                 |
|--------|--|---|---|--|---------------------------------|
| 測定情報内容 | 測定される情報                                      | $\sigma_1(\sigma_2, \tau_{12})$ も可能                                     | $\sigma_1 - \sigma_2, \sigma_1 + \sigma_2$ , 方向                                     | $\sigma_1 - \sigma_2$ , 方向, (2軸応力可)      |                                 |
|        | ゲージ長   | $\phi 150\mu\text{m}$ 以上, 一般に数 $\text{mm}^2$                            | 数 $\text{mm}$ 角以上   | 約 $\phi 10\text{mm}$ 以上                  | $1 \times 1\text{mm}^2$ 以上      |
|        | 測定深さ   | 数 $\mu\text{m}$ ~ 数 $10\mu\text{m}$ の平均値                                | 制限なし(板厚にわたる平均)  | 1 $\text{mm}$ 程度の平均値                     | 0.3 $\text{mm}$ 程度の平均値          |
|        | 感度   | 約10 $\text{MPa}$  | 数 $\text{MPa}$ 以内   | 材質による                                    | 非常に高い(10 $\text{MPa}$ 程度)       |
|        | 測定値の範囲                                       | 破断までの弾性応力成分   | 制限なし  |  | 降伏応力の半分程度                       |
| 測定条件   | 可搬型か固定型か                                     | 一般には固定, 可搬もあり   | 可搬  | 可搬                                       | 可搬(小型化可)                        |
|        | 表面処理   | 不要(必要に応じて電解研磨)  | 探触子として圧電素子(PZT)を使うときは機械研磨が必要<br>電磁超音波素子(EMAT)を使うときは表面処理不要                           | 不要                                       | 不要                              |
|        | 測定時間   | 1点数10秒~数10分   | 測定法によるが, 1点の測定に数秒~数分  | 1点数秒                                     | 1点数秒                            |
|        | 安全性  | 注意が必要   | 安全  | 安全                                       | 安全                              |
| 測定物の制限 | 接触か非接触か                                      | 非接触   | PZTを使用する場合は接触<br>EMATの場合は非接触  | 非接触                                      | 主に接触型(0.3 $\text{mm}$ 以内での非接触可) |
|        | 寸法   | 厚さ $1\mu\text{m}$ 以上<br>面積 $\phi 150\mu\text{m}$ 以上, 一般に数 $\text{mm}^2$ | 送受信法: 厚さ数 $\text{mm}$ ~150 $\text{mm}$<br>EMATの共振法: 0.1 $\text{mm}$ ~25 $\text{mm}$ | 特に制限なし                                   | 制限なし                            |
|        | 形状   | 回折とれるものであればよい(粉末も可)   | 両面平行  | 曲面も可                                     | 制限なし                            |
|        | 材料の種類  | 結晶を持つもの(多結晶が一般)   | PZT: 金属, セラミックス, 高分子<br>EMAT: 導電体   | 強磁性体                                     | 強磁性体                            |
|        | 材料の組織  | 粒径が約30 $\mu\text{m}$ 以下が一般的<br>掃動法によれば粗粒も可                              | 超音波が受信できないような減衰がなければよい  | 特に制限なし                                   |                                 |
| 特徴     | ・粒径が大きいと精度が低下<br>・三軸応力測定可能<br>・多層材の相応力の測定が可能 | ・初期値の評価が必要  | ・材料によるマスターカーブが必要  | ・初期値の評価が必要<br>・高応力側には不適<br>・最適な磁化条件設定が必要 |                                 |

文献整理

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：腐食を受けた構造用鋼材の表面形状認識システムおよび有効板厚評価

著者名：生賀裕志、池田誠、松岡敬、東森充

出典名：土木学会第52回年次学術講演会 概要集 VI ページ：pp.548~549

発行年月日：1997年9月

発行元：(社)土木学会

要旨：

腐食した構造用鋼材の強度劣化と有効板厚評価については既に報告した経緯があるが、その際に挙げた課題の一つが、腐食鋼材表面の計測法の自動化と現地適用性であった。

ここでは、その2点を重視して「表面形状認識システム」を新規に開発した。

有効板厚評価については、現地で破断面平均板厚と標準偏差がわかれば求められる。破断面平均板厚は引張試験から求められるが、今回、現地での適用としてモデリング資料の最大深さを通り、主応力方向と直角方向の断面の平均板厚を使用することにした。本システムを使用することで容易に有効板厚の評価が可能になった。

概要：

本システムの最大の特徴は、モデリング材を介して間接的にデータを取り込むことにより、現地でのデータ解析作業を容易に行えるようにしたことである。

腐食した鋼材表面の1例を写真-1に、その個所のモデリング資料を写真-2に示す。また、システムの全体写真を写真-3に示す。

基準面の補正はデータを取り込んだ画面で3点を設定することにより容易に決定できるようにした。また、最大腐食深さの個所を通る任意の断面や鳥瞰図、平面図などが容易に出力できるようにし、腐食形態をより認識しやすくした。



写真-1 腐食表面写真

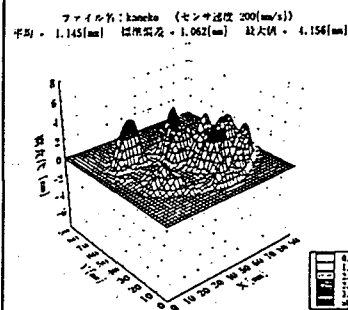


図-2 鳥瞰図出力例

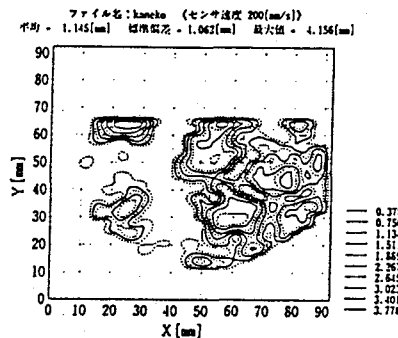


図-3 等高線図出力例

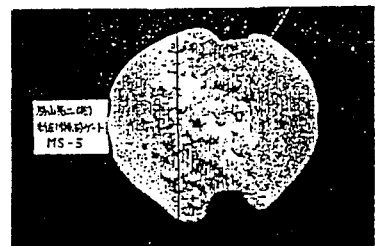


写真-2 モデリング資料

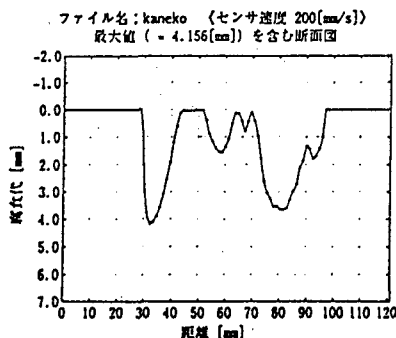


図-4 断面図出力例

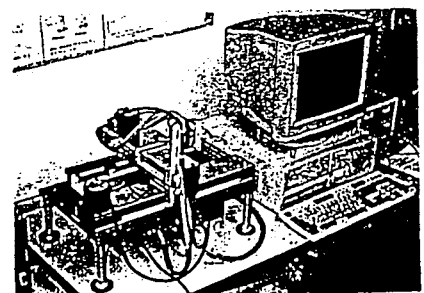


写真-3 システム全体写真

キーワード：腐食、鋼板、システム、設備診断、維持管理

## 文献整理系

## WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

## 文献名：

腐食鋼板の表面性状と残存耐荷力

著者名：村中昭典，皆田理，藤井堅

出典名：構造工学論文集

ページ：1063-1071

発行年月日：1998

発行元：土木学会

## 要旨：

15年間供用されたフェリー渡橋および40年間供用されたダム洪水吐ゲートから採取した腐食鋼材の静的および疲労試験結果に基づき、表面形状と力学特性との関係や応力評価について検討した。

## 概要

- 1) 海水および淡水の影響を受けて腐食した鋼材はGumbel分布に従う。ただし、淡水中に置かれた場合には正規分布に従う。
- 2) 降伏点，引張強さ，伸びは板厚変動係数が大きくなると低下する。
- 3) 有効板厚は，平均板厚 $-0.7 \times$ 標準偏差，で安全側の評価が可能となる。
- 4) 疲労亀裂は，応力が作用する軸方向の板厚変動係数が高い場所で発生する。また，複数の亀裂が発生する場合には，板厚変動係数が高い場所の亀裂が優先的に進展する。
- 5) 腐食鋼板のS-N曲線は，板厚変動係数を考慮した応力振幅を用いると，腐食状態に関わらずほぼ一本のカーブで整理できる。

キーワード：腐食，腐食鋼板，表面性状，静的強度，疲労強度

## 文献整理票

## WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

## 文献名：

腐食を受けた構造用鋼材の強度劣化と有効板厚評価

著者名：松岡敬，坂本吉秋，村中昭典，皆田理

出典名：土木学会年講概要集第I部

ページ：696-697

発行年月日：1995

発行元：土木学会

## 要旨：

約40年間供用されたダム洪水吐ゲートのウェブおよびスキンプレートから採取した腐食鋼板の静的引張試験を実施し、腐食した鋼材の強度劣化と応力評価のための有効板厚について検討した。

## 概要

荷重軸直角方向の平均板厚が最小となる断面あるいはその近傍で破断した。最大腐食量が増大すると、降伏点、引張強度および伸びが低下する。最大腐食量が3mmを越えるとJIS保証強度の降伏点、引張強度を下回った。伸びはそれが4mmを越えるとJIS保証規格よりも低い結果となった。腐食鋼板の応力評価のための有効板厚は、凸凹が激しい場合は(平均板厚) - 0.5 x (標準偏差)、均一腐食の場合には平均板厚として良い。

キーワード：腐食，引張試験，有効板厚

## 文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：腐食部材の健全度評価に関する研究

著者名：大野 崇，名取 暢，稲田 育朗

出典名：横河ブリッジグループ技報

ページ：pp82～94

発行年月日：1998年1月

発行元：横河ブリッジ

## 要 旨：

鋼橋の腐食事例について、特長およびその原因分析を実施した。次に、腐食損傷を定量的に把握するための非破壊検査として超音波厚さ計による板厚測定の適用性について検討を行い、測定面の凹凸が平均板厚評価に影響を及ぼすことを示した。さらに、超音波厚さ計とレーザー式変位計を用いた板厚計による測定結果から腐食部材の残存引張強度を評価する手法について検討を行い、超音波厚さ計を用いて残存引張強度評価する場合、危険側の評価を与え、レーザー式変位計では安全側の評価を与えることを確認した。

## 概 要：

超音波厚さ計を用いた腐食部材の板厚測定において、その測定精度に及ぼす影響因子として、

- ①測定面あるいは測定裏面における凹凸の影響
- ②測定密度（ある測定対象面に対する測定点の粗密程度）の影響
- ③錆の付着の影響

を考え、これら三つの影響について実腐食部材から切り出した試験片を用いて検討した。この結果、測定裏面の凹凸が平均板厚の評価に及ぼす影響は約3%程度であり、測定面の凹凸が及ぼす影響は8%程度であった。また、測定間隔が5mmと20mmによる平均板厚の差は約4%であり、測定密度が平均板厚の評価に及ぼす影響は少ないことがわかった。さらに、測定裏面に錆が付着している場合の測定値への影響はほとんど無いが、測定面に錆が付着している場合は、ほぼ全ての点で測定不可能となった。

残存引張強度を評価するため実腐食部材から採取したJIS1A号引張試験片を用いて単純引張試験を実施した。その結果、超音波厚さ計による残存強度の評価は危険側の評価を与え、特に測定面の凹凸が激しい場合には、危険側への誤差が大きくなることが確認された。それに対して、レーザー式厚さ計を使用した評価は安全側を示し、また測定は腐食部材の影響を受けないことが分かった。

キーワード：腐食、健全度評価、板厚測定、超音波厚さ計、レーザー式変位計、残存強度

## 文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

## 文献名：

鋼橋の腐食事例とその分析

著者名：名取暢，照山修，橋本和夫，奥嶋猛，西川和廣，村越潤

出典名：土木学会年講概要集第I部

ページ：574-575

発行年月日：1993

発行元：土木学会

## 要旨：

鋼橋の腐食事例について、実橋調査、アンケート、文献調査を実施し、その腐食原因を整理した。腐食の報告された橋梁の内訳は、全140橋で、半数が鋼桁で、箱桁、トラス、アーチは各20橋程度の報告がある。

## 概要

腐食原因は、桁端や床版損傷部からの漏水部位において多く発生することが裏付けられており、床版ひび割れ損傷部や打ち継ぎ不良部からの漏水、伸縮継ぎ手部や床版端部からの薄い落下・漏水によるものが半数程度を占める。

下路アーチ、トラスでは、床組に死荷重・活荷重が作用すると、主構と縦桁のたわみ差によって橋軸方向変位差が生じ、床版には幅員方向のひび割れが発生しやすい。このようなひび割れ発生部や目地部からの漏水が原因で床組部材に腐食が発生している例がある。この場合、路面舗装部にもひび割れが生じていることが多く、路上点検でこのひび割れが発見された場合には路下点検が必要といえる。吊り材や、斜材が床版に埋め込まれた構造では、埋め込み部に集水、滞水、ゴミ・泥の堆積で腐食が発生する。また、構造的な隙間部からの雨水・ゴミの落下、堆積が原因となる事例も多い。

箱桁橋では、箱内部の腐食も特徴的であり、継ぎ手部隙間からの漏水や、ダイヤフラム開口部からの水の浸入、結露に起因する。

海岸や河口部の橋梁では、海塩粒子が雨で洗浄されないことによって、桁内部や床組部材の腐食事例がほとんどである。

キーワード：腐食，鏽，漏水，滞水，橋梁



文献整理

WG1：古い建造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：腐食した鋼建造物の塗膜上からの板厚測定

著者名：生賀裕志、池田誠、松岡敬

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 概要集 VI ページ：pp.624～625

発行年月日：1998年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

水力発電所の水圧鉄管の板厚測定は、塗膜を除去し鋼肌面を露出させて超音波板厚測定器を使って行われる。これに対し今回、塗膜上から板厚測定を行う方法について、社内実験と現地での実証実験を行い、現地での実用化について考察した。

今回の現地実証試験は塗装仕様も2種類だけであったが、塗膜が健全なものについては塗膜上からの板厚測定が可能であることが実証された。ただし、塗膜の発錆・剥離個所、平滑でない個所についてはケレンして鋼肌面から測定する必要がある。

概要：

塗膜上からの板厚測定原理を図-1に示す。

探触子からの超音波パルスは鋼板裏面で第1底面エコーを発生(B1)、残りの底面エコーは塗膜と鋼板の境界面で第2底面エコーを発生(B2)して探触子に受信される。この底面エコー-B1とB2の時間を測定し測定物の厚さを求める。

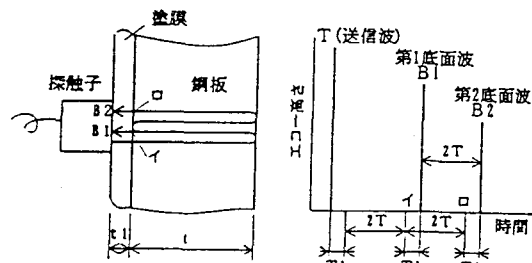


図-1 塗膜上より測定する方法の原理

現地試験結果を表-4に示す。

塗装仕様①=3種ケレン+アルキド樹脂系+フェノール樹脂系+塩化ゴム系、ならびに塗装仕様②=サンドブラスト+エポキシ樹脂系+塩化ゴム系については、塗膜上からの計測と鋼肌面からの計測誤差はごく僅かであった。

ただし、末端管などの3種ケレンで何層にも重ね塗りがされている個所は、下の層の塗膜が発錆していると、表示が出なかったり、異常値が出る個所があった。

表-4(1) 鋼筋系による測定結果比較表(4/11個所)

| 塗膜上からの測定値-<br>鋼肌面からの測定値 | 塗装仕様① |       | 塗装仕様② |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 個数    | 割合(%) | 個数    | 割合(%) |
| +0.3                    | 0     | 0%    | 0     | 0%    |
| +0.2                    | 0     | 0%    | 0     | 0%    |
| +0.1                    | 31    | 10%   | 7     | 11%   |
| 0                       | 197   | 68%   | 49    | 82%   |
| -0.1                    | 54    | 19%   | 4     | 7%    |
| -0.2                    | 5     | 2%    | 0     | 0%    |
| -0.3                    | 3     | 1%    | 0     | 0%    |
| 計                       | 390   |       | 60    |       |

表-4(2) 鋼筋系による測定結果比較表(平均値)

| 塗膜上からの測定値-<br>鋼肌面からの測定値 | 塗装仕様① |       | 塗装仕様② |       |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 個数    | 割合(%) | 個数    | 割合(%) |
| +0.3                    | 0     | 0%    | 0     | 0%    |
| +0.2                    | 0     | 0%    | 0     | 0%    |
| +0.1                    | 1     | 4%    | 0     | 0%    |
| 0                       | 25    | 88%   | 6     | 100%  |
| -0.1                    | 3     | 10%   | 0     | 0%    |
| -0.2                    | 0     | 0%    | 0     | 0%    |
| -0.3                    | 0     | 0%    | 0     | 0%    |
| 計                       | 29    |       | 6     |       |

塗装仕様  
 ① 3種ケレン+アルキド樹脂系+フェノール樹脂系+塩化ゴム系  
 ② サンドブラスト+エポキシ樹脂系+塩化ゴム系

キーワード：板厚測定、塗膜上、維持管理、設備診断、腐食鋼板

文献整理票

WG1：古い構造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：イメージング・プレートを利用した配管の減肉深さ推定方法の開発

著者名：四辻 美年

出典名：非破壊検査 47巻 11号

ページ：pp. 822～824

発行年月日：1998年11月

発行元：

要 旨：

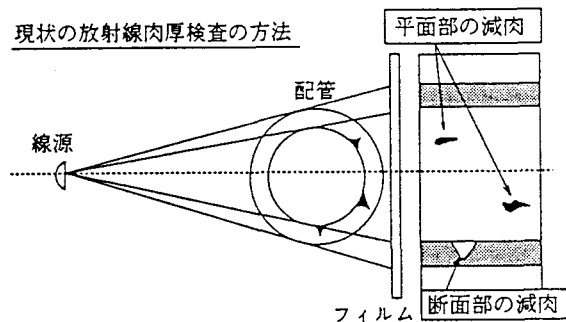
プラント設備の配管内側に生じる局所的な減肉部に対する保守検査には、従来は工業用X線フィルムが使用される。今回これに代わり、特殊な蛍光体を用いた高感度、高鮮鋭度のイメージングプレート（IP）を用いたデジタル放射線画像検査システム（FCR）の導入により、放射線相対透過線量（濃度値）がデジタルで読み取り可能となった。

これを利用して、配管の測定位置における健全部と減肉部の相対透過線量を計測し、従来困難であった配管の断面以外の平面部および大口径管の減肉深さを推定する方法を開発した。

概 要

1. 配管の放射線検査の現状

放射線検査による配管の肉厚計測は、従来、配管断面部の肉厚をフィルム上の寸法を計測し、拡大率から実際の肉厚を算出している。右図のように断面部以外の平面部は計測できない。また、配管サイズが10B（外径267.4mm）以上では適用不可である。



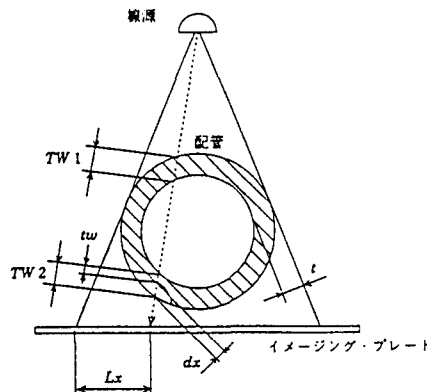
2. FCRシステムの特徴

医療分野では大学病院に普及しており、最近、工業分野にも利用され始めた。特徴は、高感度、画像のゲイムックレンジが広い、デジタルデータであり画像処理が可能、照射された線量と得られたデータとの間に良い直線性を有する、等である。

3. 配管の減肉深さ推定方法

要領は下記の通り。実機配管のテスト結果では誤差は最大0.6mmであり良好な結果であった。

- (1) あらかじめ人工きずを施した対比試験片により、相対透過線量と透過肉厚の関係を表す基準線（回帰線）を求める。
- (2) 検査対象配管をIPに撮影し、撮影後の像から測定位置における健全部および減肉部の相対透過線量を読み取る。
- (3) 健全部の透過肉厚(TTX)と相対透過線量から、(1)で求めた基準線に平行な回帰直線を引く。(図3参照)
- (4) 減肉部の透過肉厚(ttx)は、減肉部の相対透過線量と(3)で求めた回帰線より求める。



- (5) 次式により減肉深さ  $dx$  を推定する。

$$dx = (TTX - ttx) / K$$

$$\text{ただし、} K = TTX / (2 \cdot t)$$

$K$ ：肉厚補正率  $t$ ：配管の肉厚

なお、推定減肉深さ  $dx$  は、計算機により出力させる。

キーワード：配管、減肉、イメージングプレート、デジタルラジオグラフィ、検査、診断

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：17年間供用された高力ボルト摩擦継手のすべり耐力に関する実験

著者名：谷平 勉、亀井 正博、石原 靖弘、田井戸 米好

出典名：構造工学論文集 Vol. 36A

ページ：pp.1087~1096

発行年月日：1990年3月

発行元：(社)土木学会

要旨：

本実験は17年間供用後に撤去された歩道橋の主桁の高力ボルト摩擦接合部のボルト残存軸力を測定するとともに、継手部から切り出した供試体を用いて、すべり試験を行った。

従来の報告では、長時間経過したボルトの残存軸力は漸減するものの、すべり係数が大幅に増加するため継手全体としての耐力は問題ないとされていた。しかし本実験結果から、すべり係数は設計値を上回るが、従来の調査結果より小さ目であることや、ボルト残存軸力がかなり小さいことなどから継手ボルト個々の耐荷力としてはむしろ減少の傾向であり、設計時の安全率を維持できないものもあった。

概要：

対象橋梁は1971年に大阪市内に架設され、1988年に撤去された歩道橋で、橋梁形式は建設省標準設計と同じデッキプレートを用いた中路2主桁のプレートガーダー橋である。継手部の材質はSS400、ボルトはW7/8(F11T)で首下長さはフランジで95mm、ウェブで70mmであった。

測定項目を表-6に示す。

図-8はボルト残存軸力の測定結果である。これは累積度数と相対累積度数を計算し、正規確率紙にプロットしたものである。当時の設計ボルト軸力 21.0tfと比較すると軸力低下率は約42%となり残存軸力はかなり小さい。また、部位別では、ウェブよりもフランジの方が残存軸力のバラツキが大きいことがわかる。

すべり試験結果では、各部すべり係数 $\mu$ は、  
 上フランジ  $\mu=0.70\sim0.79$ (平均0.72)  
 ウェブ  $\mu=0.54\sim0.71$ (平均0.60)  
 下フランジ  $\mu=0.64\sim0.82$ (平均0.72)

で、全体平均で $\mu=0.66$ 、これは現行の道路橋示方書の0.40を約65%上回っている。

また、設計すべり耐力との比をとって見かけの安全率を計算した結果では、上フランジ以外は現行の設計安全率1.7を下回る結果となった。

なお、今回の結果が既往の報告データより低いすべり耐力となった要因としては、施工管理上の要因が考えられる。つまり、今回の橋梁は建設当時まだ高力ボルトが使用され始めた初期の頃であるという時代背景などである。

表-6 測定項目

| No. | 測定項目         | 測定器械     | 測定箇所                       | 測定目的        |
|-----|--------------|----------|----------------------------|-------------|
| ①   | ボルト頭部のひずみ    | 2軸ひずみゲージ | ウェブ 4本<br>フランジ 8本          | ボルト軸力       |
| ②   | 母材および添接板のひずみ | 1軸ひずみゲージ | 母材 2ヶ所<br>添接板 1ヶ所<br>計 3ヶ所 | 母材および添接板の応力 |
| ③   | 母材と添接板の相対変位  | クリップゲージ  | 上下 各2ヶ所<br>中央 1ヶ所<br>計 5ヶ所 | すべり時の確認     |

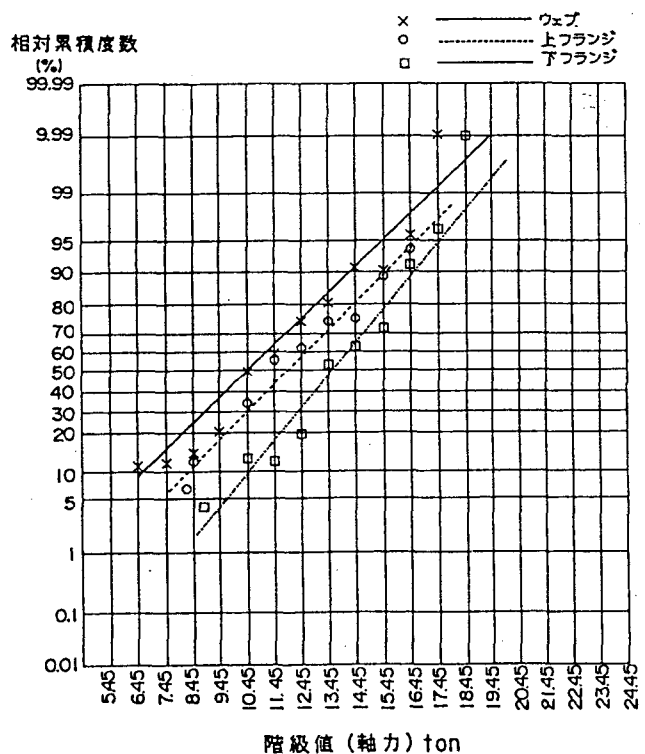


図-8 正規確率紙へのあてはめ

キーワード：高力ボルト、摩擦接合、残存軸力、すべり係数、すべり耐力、経年変化

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：施工後10数年経過した橋梁の高力ボルト継手の維持管理に関する諸問題

著者名：西岡 敬治、乙黒 幸年、矢幡 健、長沼 敏彦、吉川 紀

出典名：構造工学論文集 Vol. 43A

ページ：pp.961~966

発行年月日：1997年3月

発行元：(社)土木学会

要旨：

点検ハンマーを用いた点検によって「軸力不足」と判定された高力ボルトについて、現地調査および室内試験を行い、残存軸力、破断強度、軸力不足の原因、対策について検討した。軸力不足の原因は、施工性によるものと構造上によるものに区分され、次のように考えられる。

①施工上の要因：

本締め忘れ、構造上締め付け困難、締め付け順序が悪い、予備締めなし、頭締め

②構造上の要因：

リラクゼーション、くり返し荷重、後れ破壊の前兆

概要：

阪神高速道路で使用されている高力ボルトの規格別損傷は表-1に示すとおりで、軸力不足の本数はF11T規格以下のものに多く発生している。

特に2次部材に使用されている高力ボルトでは、リラクゼーションや振動の繰り返しなどの要因よりも、むしろ締め付けにくい施工条件下にあり、結果的に締め忘れられた物が多くあるのではないかと推定される。

表-1 規格別損傷率<sup>1)</sup>

| 規格   | 遅れ破壊<br>本数    | 軸力不足<br>本数    | 計             |
|------|---------------|---------------|---------------|
| F13T | 859本<br>(59)  | 1本            | 860本<br>(33)  |
| F11T | 579<br>(40)   | 668<br>(60)   | 1247<br>(48)  |
| その他  | 26<br>(1)     | 447<br>(40)   | 473<br>(19)   |
|      | 1464<br>(100) | 1116<br>(100) | 2580<br>(100) |

( )内は全体に対する割合(%)

今回の現地調査は供用後約17年になる路線を選び、たたき点検で軸力不足のボルトを検出した。これらのボルトについて軸力をひずみゲージ法により計測した。あわせて、正常なボルトも抜き取り比較し、軸力調査を実施した。

軸力不足と判定されたボルトの残存軸力を図-1に示す。

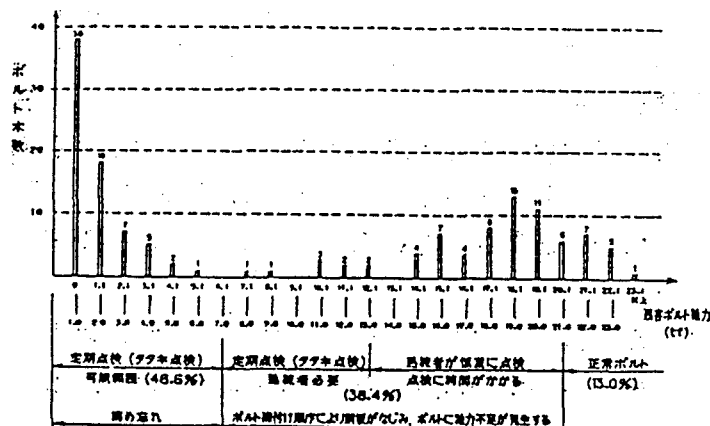


図-1 軸力不足ボルトの残存軸力分布図

キーワード：鋼橋、高力ボルト、たたき点検、残存軸力

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：高力ボルト軸力の経年変化に関する一考察

著者名：亀井正博、谷平勉、石原靖弘、畑中清、亀井正雄

出典名：土木学会第49回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.204~205

発行年月日：1994年9月

発行元：(社)土木学会

要旨：

実橋調査を中心に、高力ボルト軸力の経年変化について考察した。残存軸力の傾向分析に用いたデータは、著者らが実測した道路橋5橋、歩道橋2橋を中心に、過去の文献に公表されたものも含め、16ケースである。

検討の結果、一般には残存率 20%程度に漸近していくと言われているのに対して、30~40%の低下が懸念された。軸力低下の原因はボルト自身あるいは接触面でのクリープ、レラクセーション等が過去の研究で挙げられているが、錆の影響も大きいのではないかと考えられる。

概要：

図-1に残存ボルト軸力の経年変化を示す。施工後約10年以上ではデータ間のばらつきが大きく残存率がかなり小さい例もみられる。ここで、縦軸は残存率=平均軸力÷導入軸力、横軸は軸力の導入時点からの日数を対数表示したものである。

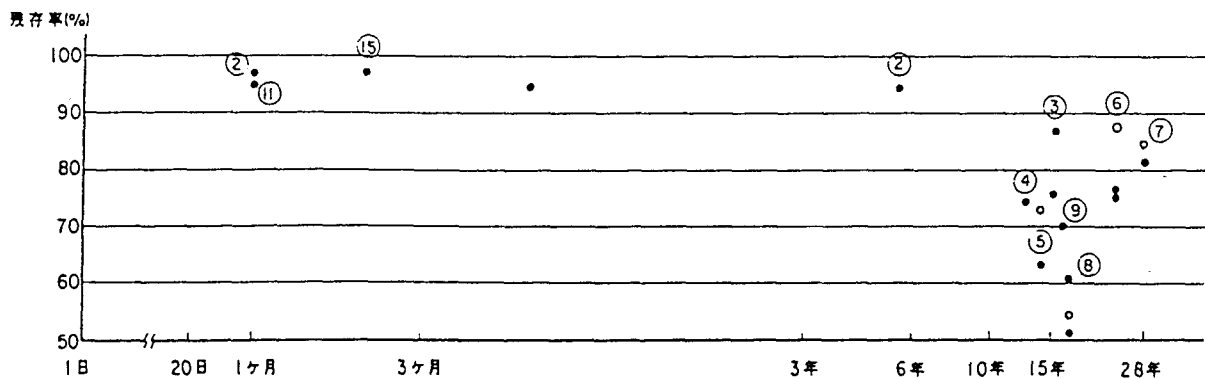


図-1 高力ボルト軸力の経年変化

つづいて、導入軸力の評価が正しかったかどうかを検討した。実施工での導入軸力が目標値よりも高い傾向にあることを考慮し、導入軸力を1割増と仮定して修正したものが図-5で、比較的強い相関性が得られた。ある。同図には平均軸力に対し最大軸力を25%増とした直線を併記している。

なお、導入軸力を1割増として先の図-1を修正した結果、軸力の低下率は30~40%になるのではないかと推定できた。

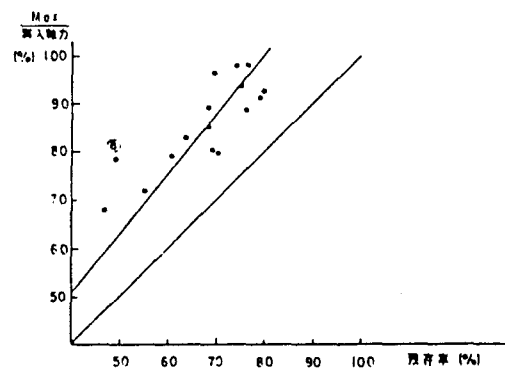


図-5 残存率-(最大値/導入軸力)の関係

キーワード：高力ボルト、実橋調査、経年変化、残存ボルト軸力

文献整理

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：高力ボルト摩擦接合継手の長期耐久性実験

著者名：谷平勉、亀井正雄、川上睦二、石原靖弘、藤田周市

出典名：土木学会第50回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.800～801

発行年月日：1995年9月

発行元：(社)土木学会

要旨：

高力ボルト摩擦接合継手において、ボルト軸力とすべり係数の変化が耐久性に影響を及ぼす。ボルト軸力の経年データについては実橋調査を中心にかかなり蓄積されてきたが、すべり係数のデータはまだ少なく、これらを組み合わせた継手全体としての経年耐荷力に関する調査は皆無である。そこで、実験桁を用いた継手部の長期(5年間)耐久性実験を開始した。本文では、実験開始直後の状況であり、20日間のボルト測定結果のみ報告されている。20日間のボルト軸力の低下状況は、摩擦面に無機ジंकを塗布したものでは塗膜のクリープにより約6%ボルト軸力が低下。摩擦面がブラスト処理の場合には2～3%程度の低下率であった。

概要：

継手の経年変化の主要原因として設置環境、荷重作用の有無、塗装の相違(錆の影響)、ボルトの種類、などに着目し、表-1の4体の実験桁を準備した。

実験桁を図-1に示す。フラツ厚=14mm、ウェブ厚=9mm(SS400)で、実橋で作用する死荷重程度の応力が導入されるように配慮した。高力ボルトはM22(F10T)の六角ボルトとトルシアボルトを使用。摩擦面の塗装系についてはブラスト処理ならびに無機ジंकリッチペイントの2種類とした。

表-1 実験概要

| 試験体名 | 設置場所   | 荷重作用 | 計測期間       |
|------|--------|------|------------|
| A    | 臨海工業地域 | 有    | 長期<br>0～5年 |
| B    | 屋内     | 有    | 長期<br>0～5年 |
| C    | 都市近郊   | 有    | 長期<br>0～5年 |
| D    | 都市近郊   | 無    | 短期<br>1年以内 |

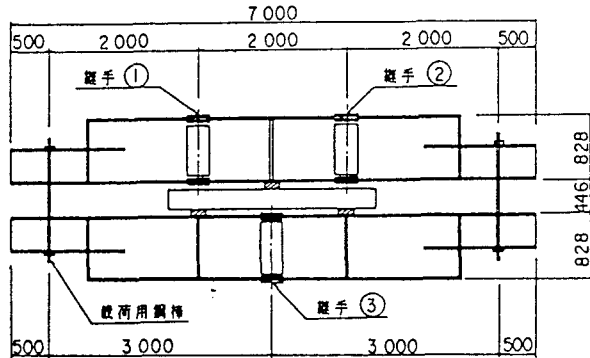


図-1 実験桁の形状

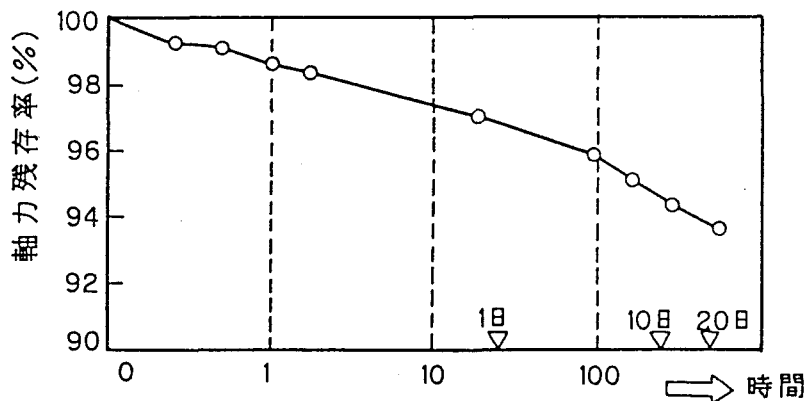


図-3 ボルト軸力の経時変化

キーワード：高力ボルト、実橋調査、経年変化、残存ボルト軸力、すべり係数

## 文献整理

WG1：古い構造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：実橋高力ボルト継手部の長期耐久性実験

著者名：石原靖弘、亀井正博、谷平勉、亀尾順一郎、亀井正雄

|                                |                |
|--------------------------------|----------------|
| 出典名：土木学会第52回年次学術講演会<br>概要集 A-I | ページ：pp.422~423 |
|--------------------------------|----------------|

発行年月日：1997年9月

発行元：(社)土木学会

## 要旨：

大阪市に架設された実橋(斜張橋)の主塔基部にある高力ボルト継手部を対象に、長期的(5年間)な実験を行い、耐久性に関する基礎データを得ることとした。

施工後1年6ヶ月経過した第1回調査結果では、添接部の塗装に顕著な差はなかった。

ボルト軸力の測定結果では、過去の研究例に見られるように、軸力がボルト締め付け直後に急激に低下し、その後、時間とともに緩やかに低下していく様子が分かった。

## 概要：

斜張橋塔基部の高力ボルト継手部において、ボルト軸力を長期(5年間)にわたって測定することにした。ボルトサイズはM22×125(130)で、S10T(トルシア型)で、ボルト頭部に貼り付けた直交2軸ひずみゲージにより、ひずみを測定しボルト軸力を推定するものとした。

ただし、長期間測定にはひずみゲージの劣化に問題がある(最長1年程度の信頼性)ため、計測対象40本のうち12本のボルトについては、軸部に4本の単軸ゲージを貼り付け、特殊なコーティングを施した高耐久性ゲージを使用し、5年間の測定に備えることとした。

実験は始まったばかりであり、約1年間でのボルト軸力の経年変化は下図の通りである。

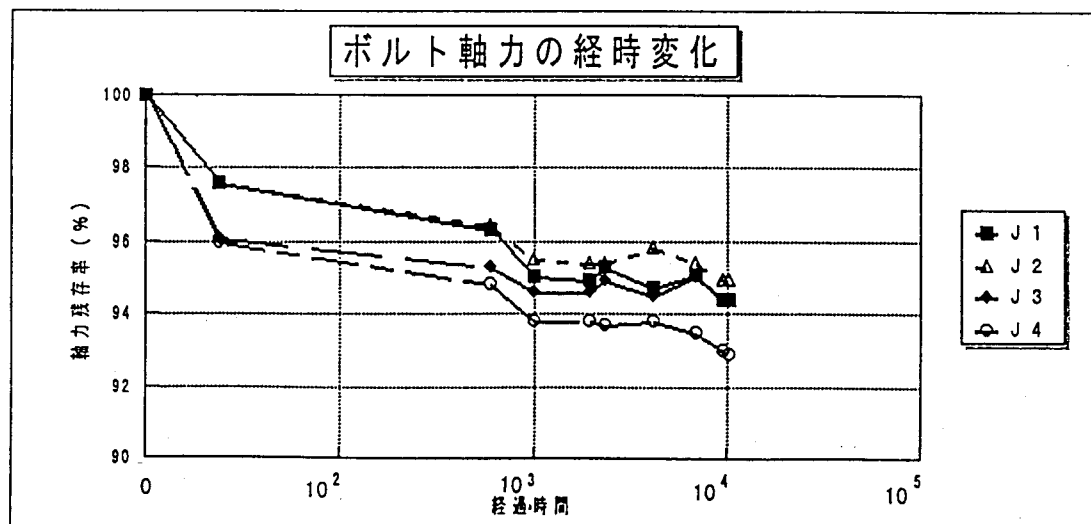


図-1 ボルト軸力測定結果

キーワード：高力ボルト、摩擦接合、継手、耐久性、維持管理

文献整理

WG1：古い建造物の材料特性，構造特性，耐荷力評価の方法について

文献名：腐食減肉した高力ボルトの残存軸力測定

著者名：大野崇、名取暢、村越潤

出典名：土木学会第49回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.518~519

発行年月日：1994年9月

発行元：(社)土木学会

要旨：

腐食により高力ボルトの一部が減肉した場合、局部的塑性変形の発生により締付け軸力の低下が考えられる。そこで、実際にボルト頭部が腐食減肉した高力ボルトを対象に残存軸力を測定するとともに、新規ボルトに腐食を模擬した切削加工を施し、高力ボルトの腐食減肉が締付け軸力に及ぼす影響について検討した。

今回測定した暴露試験体でのボルト頭部の減肉量は最大8mm、この時の軸力は初期軸力の75%にまで低下していた。また、新規ボルトを切削加工した場合の軸力減少の傾向は腐食ボルトでの傾向と比較的よく一致をし、ボルト頭の減肉量が残存軸力の推定パラメータとなり得ると言える。

概要：

残存軸力測定には、耐候性裸鋼材の暴露試験体添接部に使用されていたボルト (M22, F10TW) を使用した。海岸から200m程度離れた日本海沿岸に8年間暴露されていたものであり、写真-2に示すようにボルトの腐食が著しく、ボルト頭の減肉量は最大8mm (所定寸法36mmの20%) であった。

残存軸力の測定は、締付けられた状態のボルト頭にひずみゲージを貼り、その後、ボルトを緩めることで発生するひずみ量を測定した。次に、油圧式軸力計に測定されたひずみ量が発生するまでボルトを締付け、その時の締付け軸力を残存軸力とした。

測定結果を図-1に示す。腐食を模して切削したボルトの計測値も併記する。

図-2は、ナットの減肉量と残存軸力の割合を切削加工試験で測定した結果である。比較検討のためボルト頭部の試験結果も併記したが、ナット側での減肉が軸力低下に及ぼす影響が大きいことがわかる。



写真-2 暴露高力ボルトの腐食状況 (ボルト頭側の腐食)

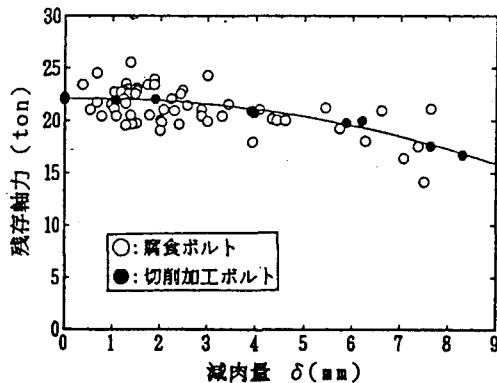


図-1 減肉量と残存軸力の関係

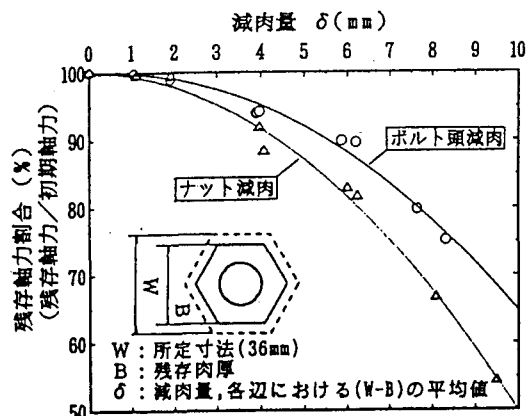


図-2 ナットの減肉量と残存軸力割合

キーワード：高力ボルト、腐食、減肉、残存軸力測定



文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：高力ボルト軸力の簡易測定器の開発

著者名：白尾兼二、石崎嘉明、藤田洋佐、田中穰

出典名：構造工学技術シリーズNo.5 構造物の診断に関するシンポジウム 論文集

ページ：pp.93~98

発行年月日：1998年7月

発行元：(社)土木学会

要旨：

現在、構造物点検における高力ボルトのゆるみを発見する方法としては、点検員が点検ハンマーでナットを打撃して判断する方法が採用されている。この方法ではボルト軸力2ton程度以下の場合について判断できるもので定量的ではない。本論文では、電磁力の特性を活用しボルトに振動を与えてその共振周波数からボルトのゆるみを判定する機器の開発について報告する。この方法はボルト軸力が増すほどに固有振動数が高い方へシフトする特性を利用し、周波数が連続的に変化する電磁力でボルト頭部に振動を与え、ボルトの固有振動数に一致したときに生じる共振周波数を測定してボルト軸力を確認しゆるみの有無を判断するものである。

概要：

測定器のセンサ断面は図-2のようであり、磁場を与える磁石と、渦電流を発生させるコイルからなる。渦電流と磁力線によって力が生じナットを上下に振動させ、この時の共振周波数を測定してボルト軸力を確認する。

今回、共振周波数と高力ボルトの締付け軸力との関係を検証するために小型供試体で室内実験を行った。また実物大の大型供試体として、架替え工事による撤去桁の添接箇所的一部分を使用し、共振周波数特性について検証を行った。

小型供試体の実験結果を図-5、図-6に示す。

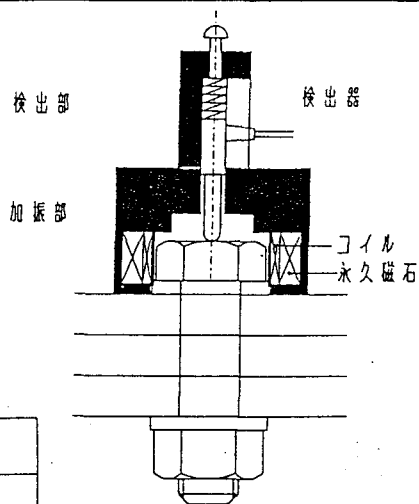


図-2 センサ断面図

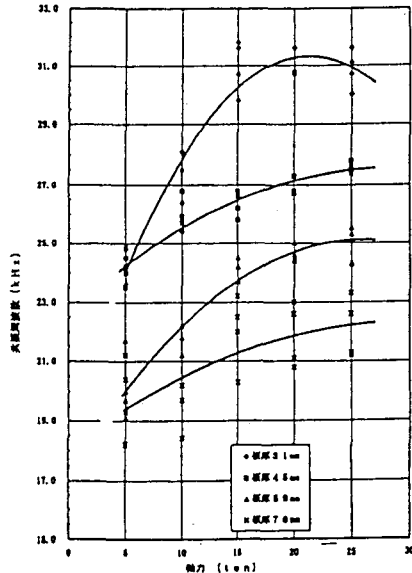


図-5 六角ボルト軸力・共振周波数関係図

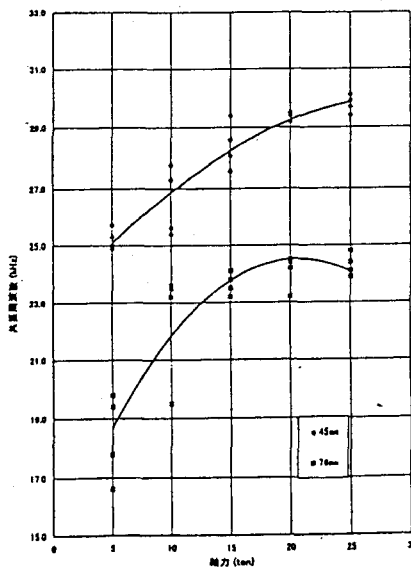


図-6 TCボルト軸力・共振周波数関係図

当初、良好な測定結果が得られなかったが、電磁力の強化、伝達棒の材質改善、加振部と検出部との境界部への制振材の挿入など測定器の改良を重ねた結果、安定した振動波形が得られるようになった。実験の結果、本測定器で高力ボルト締付け軸力10ton以下のゆるみについて確認できることがわかった。ハンマーで判定可能とされる軸力が2~3ton以下であることからすれば、ゆるみ検査機器としては十分であると考えられる。

キーワード：鋼橋、高力ボルト、軸力測定、電磁力、共振周波数

## 文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：電磁超音波センサによる横波を利用したボルトの軸力評価

著者名：萩 博次、平尾 雅彦、安井 一

出典名：非破壊検査 47巻 5号

ページ：pp. 331~336

発行年月日：1998年5月

発行元：

## 要 旨：

超音波を用いたボルトの軸力測定として、従来から行われている圧電接触子による方法では、ボルト頭部の刻印や錆、音響結合剤の厚さなど接触測定にかかわる誤差が生じやすい。また、検査表面の研磨などの前準備に費やす時間が長く、大量に使用されるボルトには対応できない。

本研究ではこれに変わる方法として、横波用の電磁超音波センサ（EMAT）を用いて、非接触測定でのボルトの軸力評価を行い、その迅速性や測定精度を従来法と比較した。

測定結果は、精度は従来法と同程度が実現した。簡便性や迅速性では従来法を大きく上回った。

なお、本研究は主に自動車用ボルトを用いたが、一般構造用ボルトとしてM24×155mmも扱った。

## 概 要

横波用の電磁超音波センサ（EMAT）は電磁気的作用によって超音波を送信・受信するため、非接触測定が可能であり、前準備を含めた測定時間が短い。また、連続的にモニタリングできることや、頭部に浮き彫り状の刻印を有するボルトに対しても測定可能であるなどの長所を持つ。

軸力評価には、軸方向に伝わる横波の位相差をモニターする「位相法」と軸方向の共鳴周波数をモニターする「電磁超音波共鳴法」（EMAR）とを用いた。いずれもボルト頭部にEMATを設置し、バースト波で駆動して軸方向に横波を入射する。位相法は比較的短いバースト波を用い、長いボルトに対して有効である。EMARでは長いバースト波を使用し、短いボルトに有効である。

測定には主に自動車用ボルト（一般構造用ボルトよりも太く、短い）を用いた。

測定システム概略図は右図の通り。

測定対象は、自動車用ボルトとして短いボルト（Bolt-A：全長27.5mm）と長いボルト（Bolt-B：全長53.7mm）の2種類、加えて、一般構造用ボルトM24×155mm（SCM-435）とした。

締め付け前の共鳴周波数や位相差の相対的な変化を連続的に測定することで軸力の評価を位相法、EMARともに5%以内の誤差で行うことができる。

特に位相法は測定時間が短く、高速の

軸力モニタリングに適している。一般構造用ボルトでは自動車用ボルトの軸力評価精度を上回った。

キーワード：ボルト、応力測定、EMAT、位相、音弾性

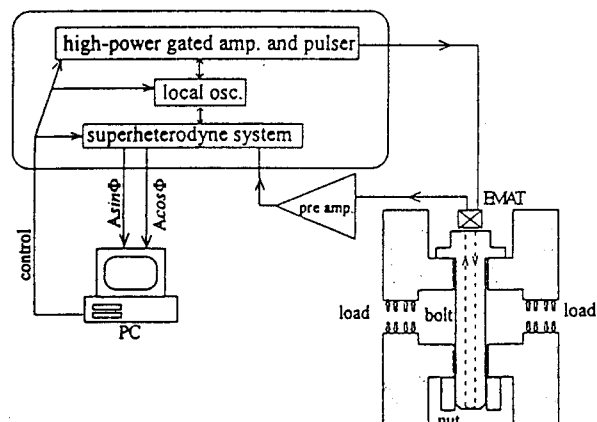


Fig. 3 Schematic figure of the measurement system for monitoring the phase and the resonant frequency in the bolt during loading

文献整理

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：X線によるPC主ケーブル調査法の研究

著者名：七里知文、吉田輝之

出典名：土木学会第53回年次学術講演会  
概要集 1-A

ページ：pp.826~827

発行年月日：1996年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

現在、PC桁の検査は、双眼鏡による外観目視検査が主体であり、桁内部に埋め込まれている重要な構造部材である主ケーブルのグラウトなどの状態を把握するためには、非破壊機能を持ったX線システムが必要となる。周辺技術としては、可搬式X線装置を用いて張出部のPCケーブル調査に使用されているが、PC主ケーブルの導入にあたっては、作業効率と検査体制を確立するための手法を開発する必要がある。そこで、今回PC主ケーブルの鋼線状態および充填グラウトの健全度を確保するため、X線透過による調査法開発に取り組んだ。

概要：

システム開発に当たっては、先ず現在市販されている可搬式X線装置3機種の中から使用機種を選定した。次に、散乱線除去について検討し、グリッドだけの使用とした。また、線源-フィルム間距離については作業時間及び画質から総合的に判断し、1000mmを使用することとした。板厚と照射時間の関係を表-2に示す。

表-2 板厚と照射時間の関係

|            |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 版厚 (mm)    | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 |
| 時間 (分)     | 0.5 | 2.0 | 7.0 | 23  | 70  | 200 |
| 合計時分 302.5 |     |     |     |     |     |     |

距離 1000mm  
濃度 1.0  
但し 550mmについては濃度 0.8

画像解析は、シース管の上下端が識別できることを前提条件とし、かつ、未経験者でも評価可能な方法として、最新の超高感度フィルム使用による高性能デジタルとRC部材厚 450mm以上についてはイメージプレートによる画像処理を併用し識別を行うこととした。これにより、目標としていたRC部材厚 550mm程度まで調査可能となった。

実用化にあたっては、X線調査フローを図-1のように考える。また、評価判定基準については誰でも同じ評価となるよう、解析処理上の濃度による数値的評価を考えている。

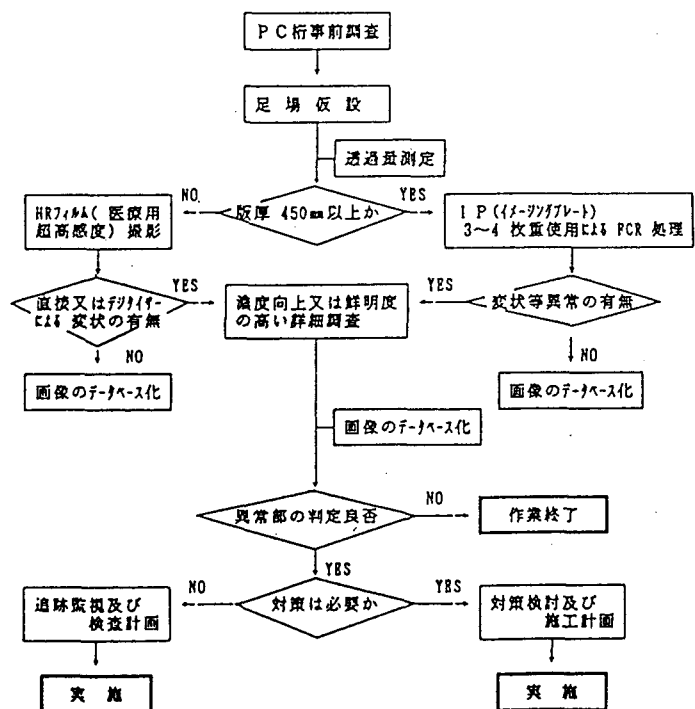


図-1 X線調査フロー

キーワード：PC桁橋、PC主ケーブル、グラウト、健全性、X線透過

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：既設道路橋の実橋載荷試験における床版鉄筋応力の挙動

著者名：牧角 龍憲

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 概要集 CS ページ：pp.84~85

発行年月日：1998年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

道路橋コンクリート床版の調査においては、施工当時の設計示方書に準じて推定したRC断面による鉄筋応力の算定結果に比べて、交通荷重による床版鉄筋の応力頻度測定結果がかなり小さくなる傾向がほとんどであり、実態を把握するに至っていないのが現状である。そこで、本研究では、道路橋床版の実態を把握する手法の確立を目的として、25tトラックによる実橋載荷試験を32橋について実施した結果を用いて、既設床版の主鉄筋と配力筋の挙動について検討した。

既設道路橋床版の補強検討に際しては、より実態に近い状態での主鉄筋応力の算定手法と主桁の影響を考慮した配力鉄筋の解析手法の検討が必要であり、それらと劣化機構との関連づけが重要である。

概要：

載荷試験は床版下面増厚工を施す32橋の補強前後で実施し、静的載荷と動的載荷(時速15kmで走行)を行った。鉄筋応力の実測値は、鉄筋のヤング係数比 $=2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ として計測ひずみから求めた。これに対し、計算値は道路橋に準じて求めたが、この時のコンクリートは $E=2.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ とし、断面には舗装を考慮した。

主鉄筋応力については、図2のように実測値はRC断面としての計算値よりむしろ全断面有効としての計算値に近くなる。このことより、一般に行われるRC断面としての耐荷性の検討では実態を的確に再現していないと言える。

配力鉄筋応力については、図5に見られる下面増厚工前後での応力変化の相関性や図6の桁スパンとの関係より、鋼橋の床版において配力鉄筋は主桁の耐荷挙動に影響されると考えられる。

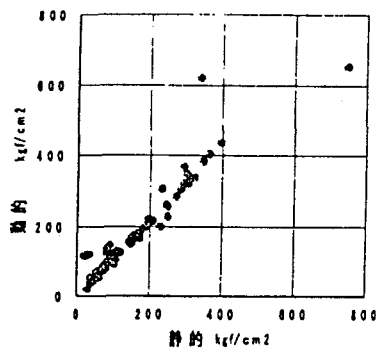


図-1 既設床版の主鉄筋応力の測定結果

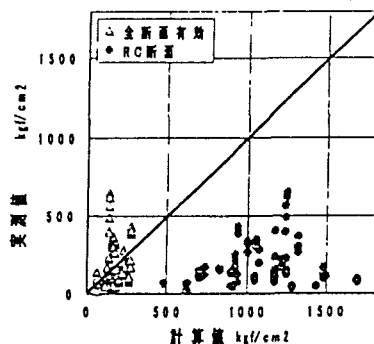


図-2 主鉄筋応力の計算値との比較

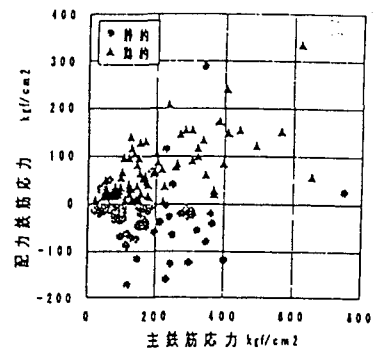


図-3 既設床版の主鉄筋と配力鉄筋の比較

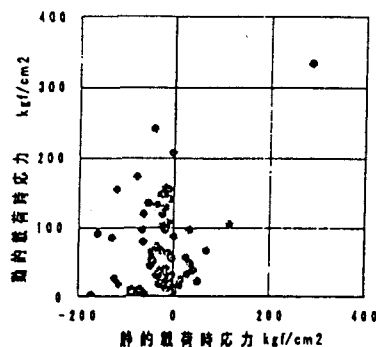


図-4 既設床版の配力鉄筋の測定結果

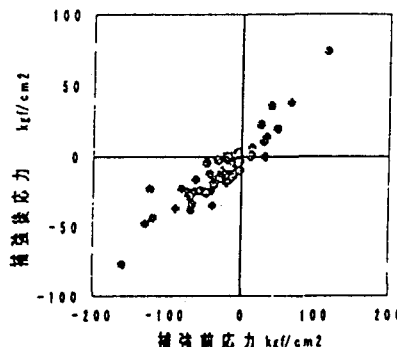


図-5 配力鉄筋の補強前後の比較

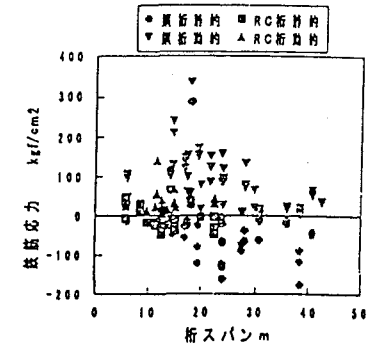


図-6 桁スパンと配力鉄筋応力との関係

キーワード：床版、鉄筋応力、実橋載荷試験、下面増厚補強

## 文献整理票

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：直流電位差法による新幹線車軸の車輪圧入部における  
三次元表面き裂の非破壊定量評価

著者名：赤間 誠、坂 真澄

出典名：非破壊検査 47巻 5号

ページ：pp. 322～330

発行年月日：1998年5月

発行元：

## 要 旨：

最近、き裂の定量的非破壊評価法として直流電位差法が注目されている。これはき裂の存在する材料内に直流電流を流し、それによって電位分布を計測してき裂に関する情報を得ようとするものである。

新幹線の車輪圧入部には表面に深い圧縮残留応力層が存在するため、この部分に発生するき裂は閉口していると考えられ、そこでの探傷には超音波法よりも直流電位差法が優位であると考えられる。

本研究では、直流電位差法によって探傷精度を向上させ、新幹線車軸の車輪圧入部に発生するき裂の寸法・形状を車輪を圧入したままで評価する手法の基盤技術を提案した。

## 概 要

新幹線車軸の車輪圧入部には、車輪との相対微小すべりによってフレッチング・コロージョンが発生し、これらを起点としてき裂が発生することがある。

本研究では、き裂の定量的評価として優れた直流電位差法によって探傷精度を向上させ、新幹線車軸の車輪圧入部に発生するき裂の寸法・形状を車輪を圧入したままで正確に評価することを目標とした。

最初に数値解析によって電流の入出力位置を種々変化させた場合の三次元表面き裂の寸法・形状と電位差との関係を解析し、両者の関係を表す較正関係式を導入した。次にこの解析結果と計測結果を照合し、逆問題解析によって新幹線の車輪圧入部に発生するき裂の寸法・形状を評価することを試みた。

得られた結果を要約すると、以下ようになる。

(1) 境界要素法によって、電流の入出力位置を種々変化させた場合の三次元表面き裂の寸法・形状と電位差との関係を解析した。得られた結果より、直流電位差法によって新幹線車軸の車輪圧入部における小さなき裂の寸法・形状及び位置を車輪を圧入したままで正確に評価するためには、電流入出力用端子の一端を、き裂にかなり接近させる必要があることがわかった。

(2) 境界要素解析で得られた較正関係式と、き裂を模擬した切欠きを挿入した車軸鋼試験片で得られた計測結果から、き裂の寸法・形状及び位置を求める最適化解析を実施した。最適解への収束は良好であった。深さの評価はセンサと切欠き間の距離に敏感であるため、測定ごとのばらつきが認められたが、き裂長さ及びき裂位置の評価は良好であった。

キーワード：直流電位差法、新幹線車軸、表面き裂、フレッチング・コロージョン、境界要素法、準ニュートン法

文献整理票

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：電磁超音波共鳴法による溶接残留応力度の非接触測定

著者名：荻 博次、平尾 雅彦

出典名：非破壊検査 45巻 7号

ページ：pp.526～530

発行年月日：1996年7月

発行元：

要旨：

電磁超音波共鳴法（EMAR）は気温や表面状態に依存しない、測定が簡易で人に依存しない、測定時間が短い、等の条件を満足し、金属構造物内の応力の非破壊評価法としては実用的な測定法と考えられる。

同法は、電磁超音波センサ（EMAT）によって応力や材料劣化を診断する非接触材料評価法である。

本研究ではEMARを用いて鋼板溶接体と配管溶接体の残留応力分布を測定した。本手法では主応力差が評価されるため、予め無応力での音響複屈折量を知る必要があり、重大な短所である。ただし、構造端部近傍では応力が低いものと考えられる場合には、これを初期値として仮定し、他の部分の応力評価が可能となる。今回もこの手法を用い、ひずみゲージ法と比較して40MPa以内のばらつきで一致した。

概要

EMARは面倒な検査面の前処理が必要なく、簡便に非接触測定が行える。本研究で用いた試験片は  $Ra=6.5\sim 7.2\mu s$  の表面粗さであったが測定に影響はなく、迅速な応力測定（約20秒）を行うことができた。鋼板突合せ溶接体の残留応力測定結果は、端部を無応力と仮定して評価したが、ひずみゲージの結果と40Mpa程度のばらつきで一致した。

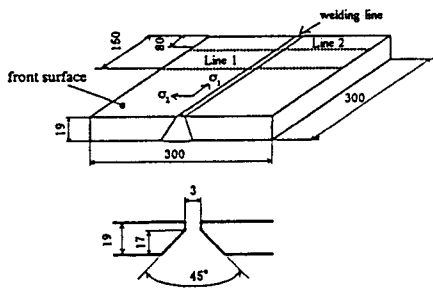


Fig. 3 Geometry of butt-welded plates

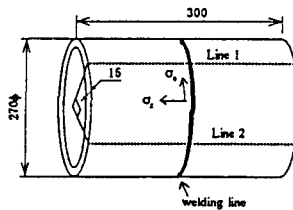


Fig. 4 Geometry of welded pipes

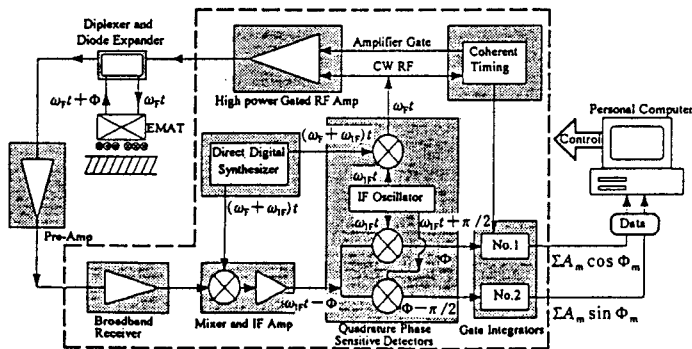


Fig. 5 Measurement system with bulk-wave EMAT and superheterodyne spectroscopy

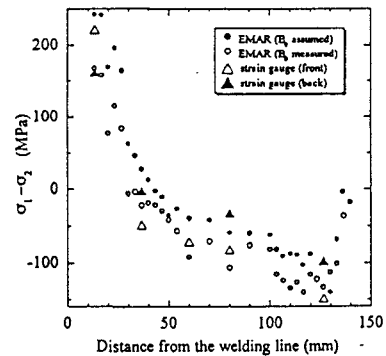


Fig. 9 Comparison of the EMAR method and the strain gauge method for the welded plates. The solid and open circles are the data by the EMAR with the assumed  $B_0$ , (the same as the solid circle in Fig. 7) and the measured  $B_0$ , respectively. The triangles are the strain gauge results

キーワード：非破壊評価、電磁超音波共鳴、音弾性、応力測定、残留応力、溶接鋼管

## 文献整理票

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：SUS304鋼の音弾性特性と溶接残留応力の測定

著者名：石門環、山崎友裕、八重川克利、平尾雅彦、福岡秀和

出典名：非破壊検査 46巻 9号

ページ：pp. 674～680

発行年月日：1997年9月

発行元：

## 要 旨：

近年、SUS304 ステンレス鋼を構造用鋼材として適用しようとする動きが見られる。SUS304 は、非磁性体のため材料の内部応力を簡便な装置で測定できる非破壊応力測定法は現時点では「音弾性法」のみと考えられる。しかし、音弾性法のSUS304 ステンレス鋼への応用に関する報告例はほとんど見あたらない。

本研究はSUS304 ステンレス鋼の引張応力負荷試験を行い、負荷応力下での音弾性特性を調べた。その結果を利用して突き合わせ溶接平板の残留応力を測定し音弾性法をSUS304 ステンレス鋼の非破壊残留応力測定に適用する場合の問題点を明らかにした。

## 概 要

SUS304 ステンレス鋼の音弾性特性を引張試験片を用いて測定した。その結果を用いて突き合わせ溶接平板の残留応力を音速比法と横波平均伝播時間法により測定した。得られた結果は以下の通り。

- 1) 音響複屈折-応力関係は線形性が悪くSUS304 ステンレス鋼の応力測定に複屈折法は適さない。
- 2) 音速比-応力関係は除荷時の線形性はよいが、負荷時に低応力域の非線形性が顕著である。この非線形性は負荷履歴とともに減少する。
- 3) 横波平均伝播時間-応力関係は負荷履歴と関係なく良い線形性が得られた。
- 4) 残留応力測定では音速比法と比較して横波平均伝播時間法の方が良好な結果が得られたが、いずれの方法でも切断による応力解放後の値を用いる破壊法でなければ十分な応力測定精度は得られない。

キーワード：音弾性特性、超音波、応力測定、残留応力、ステンレス鋼、溶接

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名： 疲労き裂モニタの開発\*

著者名： 森野賢吾\* 日和千秋\*\* 猪飼靖\*\*

出典名「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol. 45, No. 1 ページ： pp. 79-84,

発行年月日： Jan. 1996 発行元：(社) 日千研科学会

**要 旨：**

実働荷重下で機械・構造部材の疲労き裂をモニタする目的で研究を行い、以下の結論を得た。

(1)引張圧縮応力負荷下で、き裂近傍と十分遠くに貼り付けたひずみゲージの出力の積を観察することにより、き裂の進展を検出するとともに破断寿命を予測することができる。

(2)き裂進展の判定基準としてしきいとなる値を適切に設定することにより、破断寿命の72-99%の間で警告を発することができる。

(3)き裂近傍のひずみゲージの貼り付け位置によりき裂の進展を検出する感度が異なる。

(4)曲げ応力負荷下では、き裂近傍の二方向のひずみ差を観察することでき裂の進展を検出することができる。

(5)この手法を用いてき裂あるいは疲労寿命をモニタすることにより、機械・構造部材をより安全かつ有効に使用することができる。

(6)簡単なアナログ回路で上記目的を達成できる装置を安価に試作し、その働きを確認することができた。

概 要

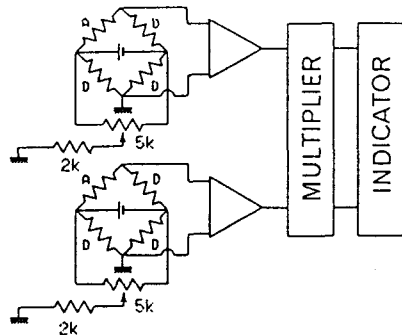


Fig. 7. An electrical circuit for the monitor.

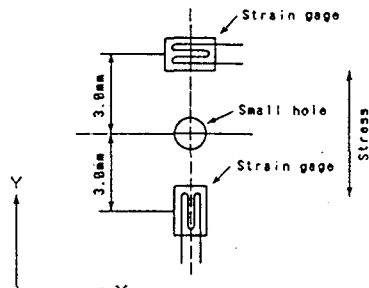


Fig. 8. Geometrical arrangement of strain gages.

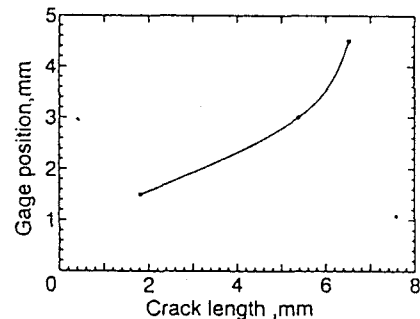


Fig. 12. Relation between crack length and the gage position.

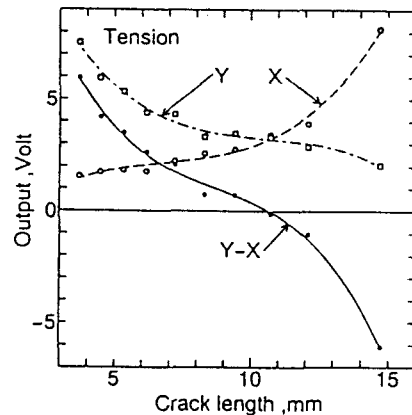


Fig. 13. Output signals of the monitor (bending test).

キーワード： Fatigue life prediction, Crack monitoring, Notch, Strain analysis, Strain gage, Product of signals



文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名： 高温破壊のコンピュータシミュレーション  
その3：構造材料の寿命・余寿命評価\*

著者名： 藤山 一成\*

出典名「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol. 45, No. 1 ページ： pp. 137-142

発行年月日： Jan. 1996 発行元：(社) 日本材料学会

要旨： シミュレーションを応用した高温機器部材の寿命・余寿命評価技術についてガスタービンへの適用例を中心に述べた。シミュレーションは、複雑な高温劣化・損傷現象を、比較的少数の基本的な理論式と材料定数を用いて把握する手法として有効であり、従来の実験式による評価に理論的裏付けを与える場合もある。その結果、履歴情報等が不十分な場合でも、現時点の検査結果をもとにした余寿命予測が可能になるものと期待される。

また、材料力学、破壊力学、金属物理学、確率論、フラクタル・カオス理論、熱流体力学および構造力学などを複合的に駆使することにより、さまざまな現象への適用が可能となる。そのような複合的・学際的アプローチや劣化・損傷現象から使用条件を逆解析的に推定することも試みられている<sup>1),13),22)</sup>。さらに、評価ばかりでなく、例えば部品の長寿命化につながる最適組織の判定などにも応用できるものと思われるが、これらは常に実験・実測による検証・裏付けをとりつつ進めていく必要がある。

概要

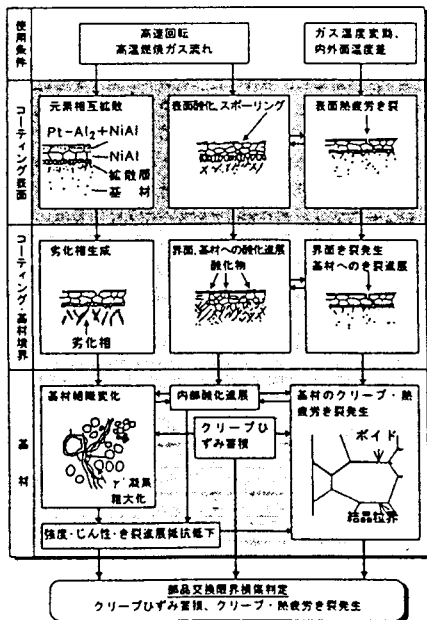


図4 第1段階動翼の劣化・損傷因子分析例

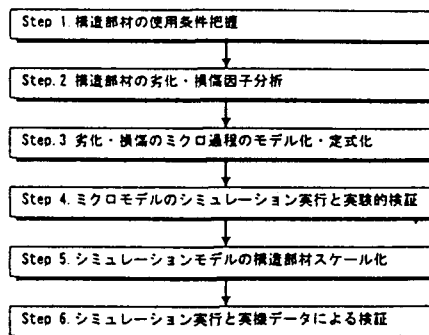


図2 構造部材への劣化・損傷シミュレーション適用手順

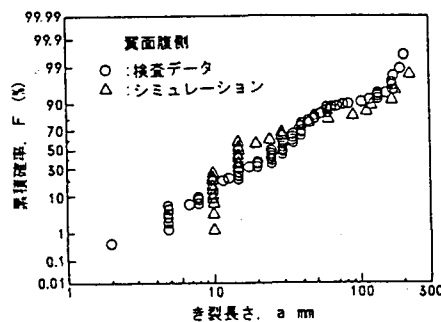


図22 静翼シミュレーションと検査によるき裂長さ分布<sup>11)</sup>

キーワード： Life assessment, Computer simulation, High temperature component, Degradation, Damage, Gas turbine

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名： 発電プラント機器の非破壊検査技術の進展\*

著者名： 榎 並 宏 治\*\*

出典名： 溶接学会誌 第65巻(1996)第8号

ページ： PP. 633～647

発行年月日： 1996年

発行元： (社) 溶接学会

要 旨：  
 プラント機器の非破壊検査技術として、超音波探傷、渦電流探傷について、原理、検出・定量評価法、実機適用例等を説明した。技術的には、解析手法等基礎的な研究から高度な機能を持ったプローブ・装置の開発まで行なわれるようになっており、検査装置の性能は、着実に向上している。検査技術の信頼性については、世界的にも、種々の検討が行われており、検査の信頼性もさらに向上してゆくものと考えられる。一方、性能・信頼性のみでなく、実機適用には、効率、コスト面も重要な課題であり、今後、これらのバランスのとれた手法、装置の開発がさらにすすんでゆくものと考えられる。

概 要

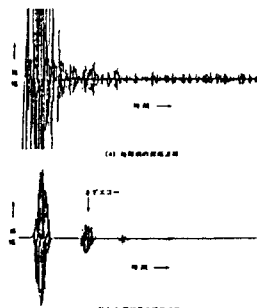


図 42 SSP 処理例

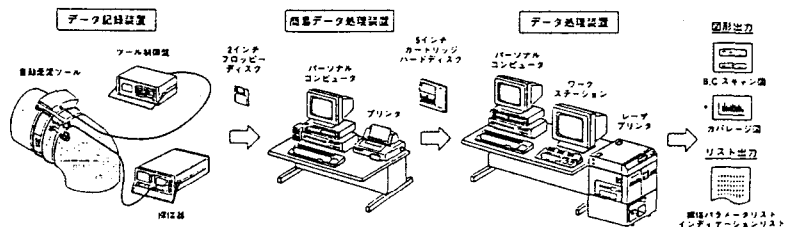


図 43 配管用自動超音波探傷装置

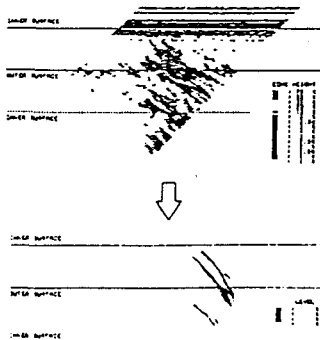


図 43 超音波探傷画像処理

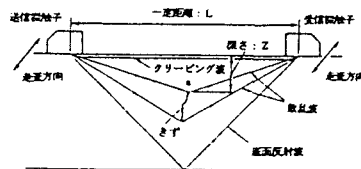


図 44 TDFD 法

キーワード： 非破壊検査、定期検査、超音波探傷法、渦電流探傷法、探触子、探傷器、欠陥定量化、信号処理

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：鋼プレートガタ-橋における応力測定結果に関する報告

著者名：藤原 稔、村越 潤、鹿嶋久義

出典名：構造工学論文集 Vol. 37A

ページ：pp.1181~1188

発行年月日：1991年3月

発行元：土木学会

要旨：

鋼プレートガタ-橋に関して、実橋の応力測定結果に基づき、実測応力度と計算応力度（格子桁理論）の差、日最大応力度及び応力範囲の頻度分布から得られる等価応力範囲及びその頻度の実態について分析を行った。主な結果は以下の通り。

(1)大型車一台載荷での実測/計算応力比は計算応力が大きくなるにつれ小さくなる傾向にある。

実測/計算応力比は、合成桁で0.2~0.96の範囲で分布、非合成桁では0.39~0.77の範囲。

(2)車両満載時での実測/計算応力比は、非合成桁では0.49~0.70であり、合成桁に比べ、床版の合成効果を計算に見込んでない分だけ小さくなっている。

概要：

調査項目と対象橋梁は表-1の通り。  
測定箇所は支間中央主桁下フランジ下面。

表-1 調査項目と対象橋梁 (橋梁数)

| 調査項目<br>年度 | 20ton車<br>の静的載荷<br>時の応力測定 | 24時間応力測定<br>(PV法) | 24時間応力測定<br>(RF法) | 24時間応力測定<br>時の交通量監視 | 備考                           |
|------------|---------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------------------|
| S61        | —                         | 4                 | 4                 | —                   | 非合成桁 3橋                      |
| S62        | —                         | 27                | 19                | —                   | 非合成桁 13橋                     |
| S63        | 30                        | 30                | 27                | 30                  | 非合成桁 7橋<br>合成桁 20橋<br>未調査 4橋 |

注)PV法(ピークバレー法)：最大値最小値の頻度分布を求めるときの数形処理方法  
RF法(レインフロ-法)：応力範囲の頻度分布を求めるときの数形処理方法

主な調査は次の2項目。

- ①20tトラック1台の静的載荷時における応力測定。  
なお、荷重車載荷時の実測応力に対する計算  
応力度については格子桁理論に基づき求めた。
- ②ヒストグラムレコーダー1台を用いて、交通  
供用下における24時間応力測定を行った。

下図は、実測応力度と計算応力度との比較結果の一部である。

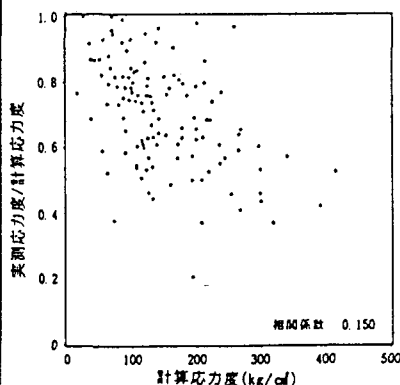


図-3 実測応力度/計算応力度 (荷重車1台載荷、全橋梁全主桁の値をプロット)

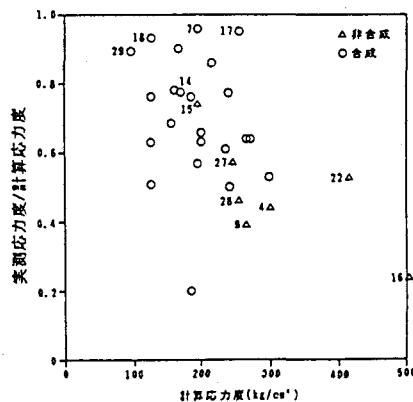


図-4 実測応力度/計算応力度 (荷重車1台載荷、各橋梁の最大値のみプロット)

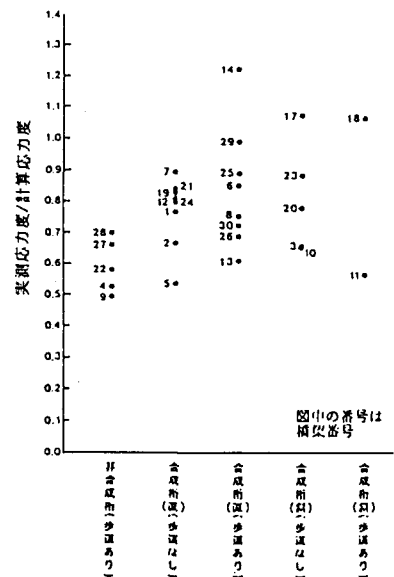


図-7 実測応力度/計算応力度 (全車線別載荷、各橋梁の最大値のみプロット)

キーワード：鋼桁橋、実測応力度、計算応力度、ヒストグラムレコーダー、ピークバレー法、レインフロ-法

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐力評価の方法について

文献名：東京都における既設橋梁の実応力測定と応力実態

著者名：高木 千太郎、藤本 吉一、森 康晴

出典名：橋梁と基礎

ページ：pp.19~23

発行年月日：1992年7月

発行元：

要旨：

東京都が昭和59~63年度の5年間に実施した、実橋の載荷試験と応力頻度測定結果についての報告である。今回の報告で判明したことをまとめてみると、

- ①試験車の載荷試験による主桁発生応力は概ね計算値の90%以下。また、断面定数の補正係数の平均値は、鋼橋の合成桁で0.669、非合成桁で0.541である。
- ②応力頻度測定では30日間の計測で、発生応力は一般に設計値以下。外桁、内桁の比は、発生応力度と設計値でほぼ同じ。
- ③大型車交通量と応力頻度測定結果の相関性は低い。これについては、実測最大値が橋梁の構造特性または個々の車両の影響を強く受けるためと推測される。
- ④測定ゲージを使って、主構造以外への荷重分配状況を見た結果、地覆や添架物にも実際には荷重分配していることがわかった。

概要：

測定した橋梁は表-1の通り。測定箇所は支間中央の下フランジ\*とした。試験車は20tタンクトラックを用い、昭和59年度は静的に、昭和60年度以降は通常走行速度40km/hでの動的な載荷試験を行った。

図-3は試験車による載荷試験で、単純鋼板桁、箱桁の各桁に発生した最大応力と支間長の関係を示す。分布状況は右下がりとなっており、支間の長い橋での発生応力度が小さくなっている。データのパラッキが大きい原因は、各橋梁で設計活荷重応力度が異なること、外桁・内桁の発生応力度の差が大きいこと、及び歩道や剛性防護柵の有無などが考えられる。

図-4は実測値と格子計算結果との比(α値)と格子計算結果の関係を示す。全般にα値は0.9以下に分布し、1.0を上回る橋は18橋中5橋であった。そのうち4橋は箱桁橋であり、ねじりの影響を実測値では拾っているためと考えられる。

表-1 測定橋梁

| 構造形式   | 載荷試験を実施した橋数 | 応力頻度測定を実施した橋数 |        |    |
|--------|-------------|---------------|--------|----|
|        |             | 7日間測定         | 30日間測定 |    |
| 鋼      | 合成I桁        | 25 (1)        | 6      | 18 |
|        | 非合成I桁       | 4 (1)         | 3      | 1  |
|        | 鋼箱桁         | 3             | 1      | 2  |
|        | 鋼床版*        | 4             | 0      | 4  |
|        | その他         | 4 (2)         | 0      | 2  |
| 小計     | 40 (4)      | 10            | 27     |    |
| コンクリート | PC T桁       | 5             | 5      | 0  |
|        | PCラーメン      | 1 (1)         | 0      | 0  |
|        | 小計          | 6 (1)         | 5      | 0  |
| 計      | 46橋(5橋)     | 15橋           | 27橋    |    |

注) ( )内は、静的載荷試験を実施した橋数を示す。

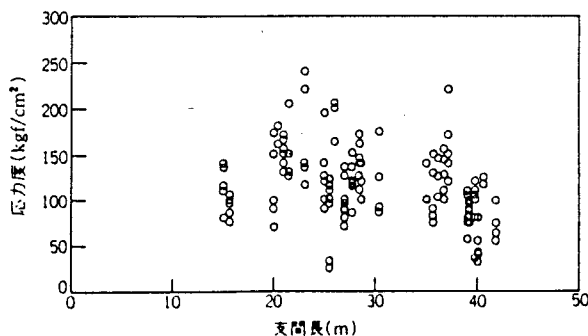


図-3 載荷試験による各桁の下フランジ最大応力度と支間長の関係

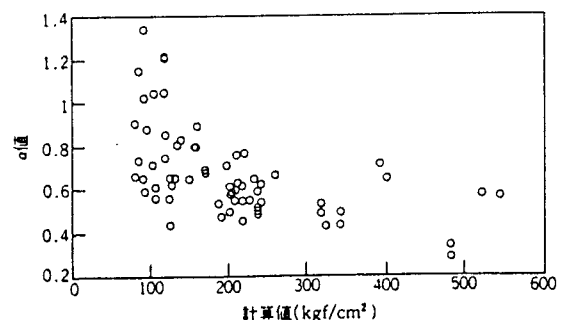


図-4 実測値と計算値の比(α値)と計算値の関係

キーワード：既設橋梁、実応力測定、静的載荷試験、動的載荷試験

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：鋼道路橋の実応力比に関する調査報告

著者名：鈴木博之

出典名：鋼構造年次論文報告集 第3巻

ページ：pp.155~162

発行年月日：1995年11月

発行元：

要旨：

既往の実測データから、プレートガ-橋主桁下フランジに外力により生じる実応力と設計計算で得られる応力を調査し、実応力比（=実測値/計算値）について検討した。主な結果は、以下の通り。

- 1) 支間と実応力比の間に有意な相関は認められなかった。
- 2) 幅員と実応力比の間にも有意な相関は認められなかった。
- 3) 一般道の単純剛性鉄桁、単純非合成鉄桁については、実応力比は建設省土木研究所と東京都のデータからほぼ 0.6 とみなしてよいものと判断された。
- 4) 高速道路の橋梁に関しては、データ数が十分ではないが、単純合成鉄桁の実応力比は計算応力度によらずほぼ一定であり、0.8 とみなすことも可能なようであった。

概要：

調査したデータは、建設省土木研究所が応力測定を実施した30橋、東京都が実施した46橋のうちの35橋、大阪市の実施した1橋、日本道路公団1橋、首都高速道路公団3橋、ならびに阪神高速道路公団の5橋である。今回の対象は支間中央主桁下フランジの応力に絞って調査した。

比較する計算値は1橋のみが立体FEM解析から求められたものであり、他はすべて格子解析により求められたものである。

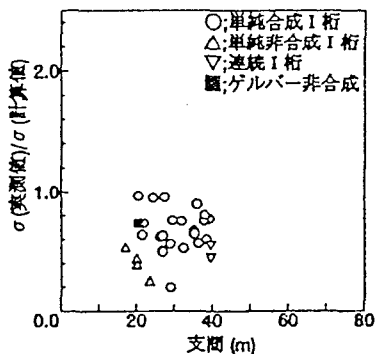


図1 実応力比と支間の関係 (建土研)

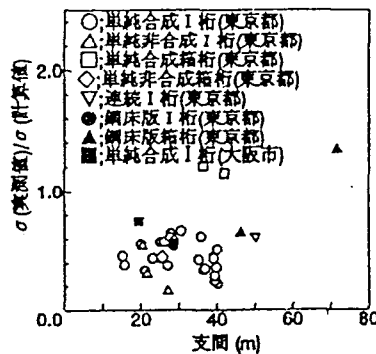


図2 実応力比と支間の関係 (東京都, 大阪市)

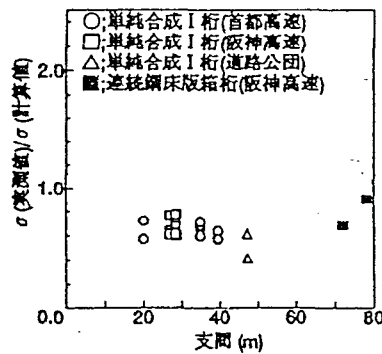


図3 実応力比と支間の関係 (3公団)

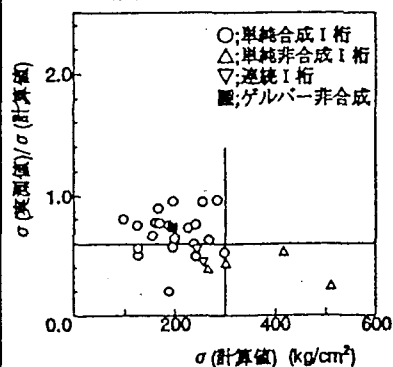


図7 実応力比と計算応力度の関係(建土研)

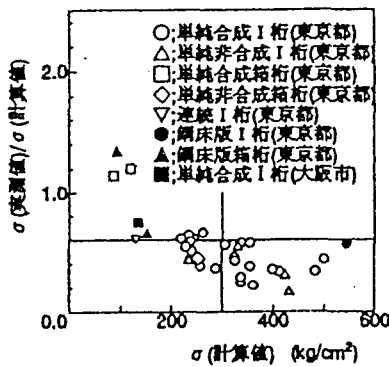


図8 実応力比と計算応力度の関係(東京都, 大阪市)

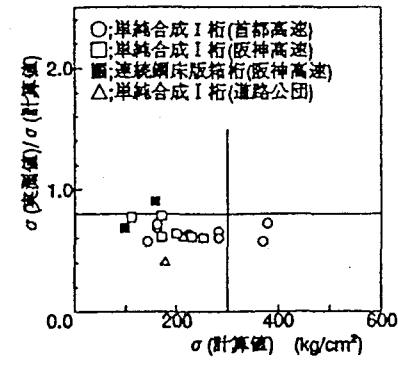


図9 実応力比と計算応力度の関係(3公団)

キーワード：実応力比、道路橋、疲労

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：箱根登山鉄道早川橋梁の実荷重による強度調査

著者名：山内幸政、入部孝夫、勝間田直之

出典名：土木学会第49回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.370~371

発行年月日：1994年9月

発行元：(社)土木学会

要旨：

箱根登山鉄道の早川橋梁は1888年旧天竜川橋梁の一連として架設され、1917年に現在の所に転用されたもので、供用期間100年の国内の鉄道橋としては希に見る長寿命である。したがって、腐食、摩耗、疲労などによる耐荷力の低下が予想される。本橋は昭和46年に外観調査や応力測定など実施した経緯があるが、その時点からすでに20年以上経過しており、また、従来の1~2両編成に加え3両編成を通すことから、改めて健全度調査を実施した。

本稿は、その一環で実施した実荷重による強度調査について報告したものである。

概要：

一般図を図-1に示す。上下弦材と端柱に鋼を、斜材と床組に錬鉄を使用。支承は点支承でなく橋軸方向1m×下弦材下フランジ幅0.9mの面支承となっている。

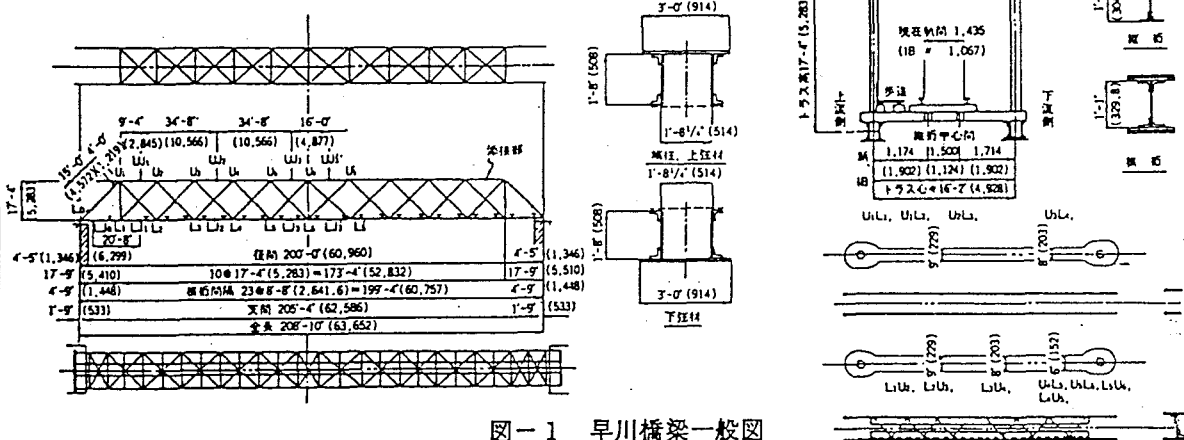


図-1 早川橋梁一般図

今回の測定結果は昭和46年当時の測定結果とはよく一致したが、計算値との比較では桁端部下弦材ならびに支間中央の下弦材にて計算値と異なる応力が発生した。桁端部については解析モデルの支持条件を変えることで実測値に近づいたが、支間中央についてレールや橋側歩道を加味した剛度に変更したが良好な一致には至らなかった。

図-5は動的応力測定結果と計算値との比較である。

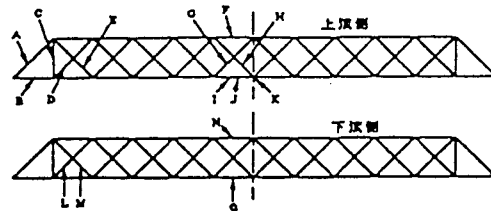
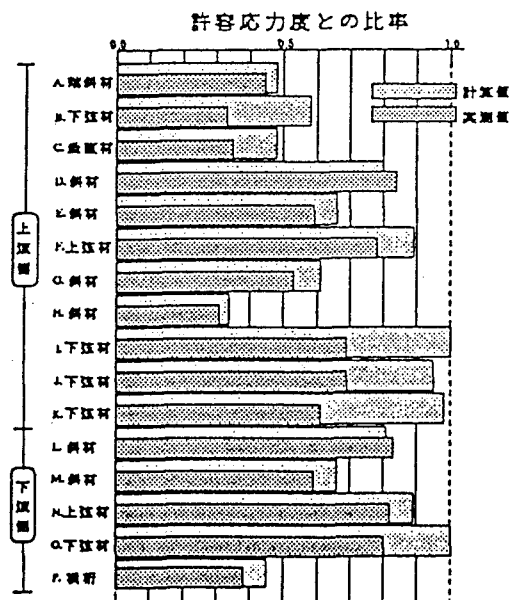


図-5 動的応力測定結果



キーワード：実橋測定、100年供用、鉄道橋、ダブルワーレントラス橋

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：30年間供用された連続合成桁橋のトラック走行試験と現場計測

著者名：白倉篤志、小深田祥法、長井義則、伊藤忠政、平城弘一

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.144~145

発行年月日：1998年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

関西道路研究会では多年供用されたプレストレスしない連続合成桁橋の性能評価を実施するために、およそ30年間供用されてきている実橋梁に対して、床版のひび割れ調査とトラック走行による現場計測を行った。本件では、対象橋梁の概要、現場計測計画およびトラック走行試験によるひずみ・変位の計測結果について報告するとともに、それらの結果について分析した。計測結果から明らかになった諸点は、

- ① 床版下面に発生していたひび割れは、超音波測定器で測定した結果、貫通していないことがわかった。
- ② 応力測定結果より、計測対象橋梁は一般的な3径間連続桁橋の挙動を示していることがわかった。
- ③ ひび割れ開口変位の測定結果から、試験時の試験車の実速度と車両位置が特定できることがわかった。

概要：

対象橋梁は、1969年12月に開通して約30年が経過した3径間連続合成桁橋（プレストレスなし）である。一般図を下の図-1に示す。

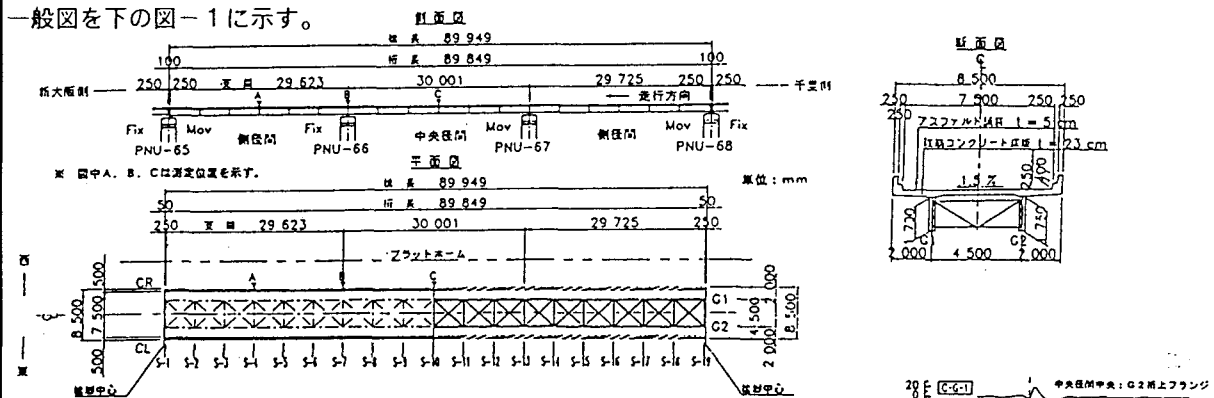


図-1 官原高架橋南行き構造一般図

走行試験では、試験車(総重量約22t)を2台平行に並べて走行させた。

図-3は走行試験結果の一例である。縦の破線は試験車が各断面を通過する時刻を表している。この結果より、試験車が中央径間や側径間を走行しているときにはC及びA断面には正の曲げモーメントが作用し、B断面には負の曲げモーメントが作用していることがわかる。

このことから、本橋梁は床版に多数のひび割れが発生しているものの、連続合成桁としての機能は有しており、一般的な3径間連続桁橋の挙動を示していると考えられる。

また、下フランジに比べて上フランジに発生する応力が非常に小さいことから、中立軸は上フランジ近傍にあることがわかった。

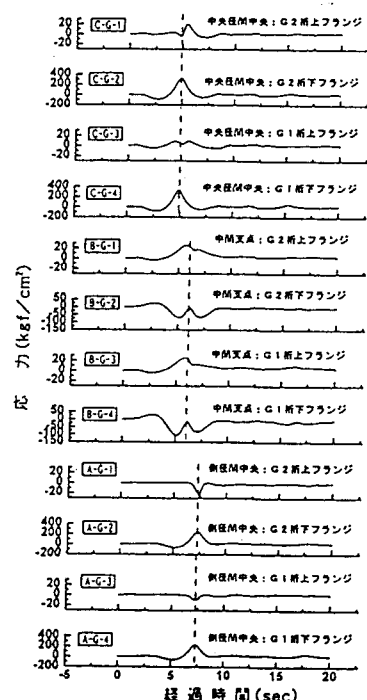


図-3 CASE01 応力測定結果

キーワード：合成桁、連続桁橋、現場計測、荷重評価、ひび割れ調査、性能評価

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐力評価の方法について

文献名：30年間供用された連続合成桁橋の断面性能とシステム性能評価

著者名：増田伊知郎、吉田順一郎、林幸司、伊藤忠政、平城弘一、松井繁之

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 ページ：pp.146~147  
 概要集 A-I

発行年月日：1998年10月

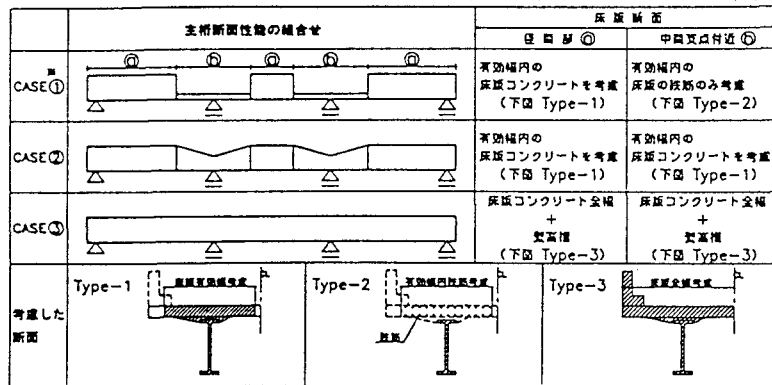
発行元：(社)土木学会

要旨：

30年間供用された3径間連続合成桁橋（プレストレスなし）の実橋載荷試験を行い、床版の合成効果ならびに床版のひび割れに伴う連続合成桁としての性能の変化について検討した。  
 その結果は、本橋の床版は荷重履歴に対して健全であるとともに、中間支点上においても合成効果を維持しており、全体として当初想定された連続桁としての性能を確保しているものと考えられる。

概要：

測定値に含まれる誤差の影響を少なくするために、発生応力が大きくなる載荷状態での測定値と計算値とを比較した。主桁の計算は1本梁モデルで行い、床版の有効度合いについては図-3の①~③ケースを行った。



※：Case①は 表示Ⅱのプレストレスない連続合成桁の規定を適用、当初の設計で仮定した断面に相当する。

図-3 計算に用いた主桁断面性能の組合せ

測定値と計算値を図-4に示す。両者を比較した結果、床版の全幅と壁高欄を断面に含め、全長にわたって有効としたCase③が測定値と最もよく整合した。

今回得られた知見は以下の通りである。

- 1) 載荷試験の測定値は、径間中央及び中間支点部において、床版全幅と壁高欄を合成断面に考慮した計算結果とよく一致した。
- 2) 最大応力発生時以外においても、着目断面の応力履歴は連続合成桁としての計算値と良く一致し、載荷荷重の位置にかかわらず健全な追従性を示していた。
- 3) 当初の設計で仮定した中間支点部のコンクリートを無視する設計法は今回測定に用いた程度の載荷荷重に対しては安全側である。

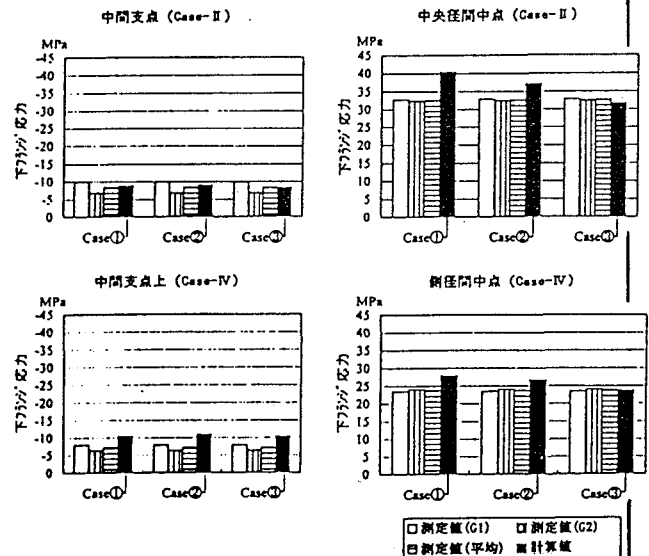


図-4 測定値と計算値の比較

キーワード：連続合成桁橋、車両走行試験、RC床版、有効幅、性能評価



文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：既存非合成桁橋梁の実耐荷力に関する研究

著者名：山田真幸、三田大介、三木千壽、長江進

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.616~617

発行年月日：1998年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

架設から24年が経過した非合成3径間連続4主桁橋を対象に、載荷実験と構造解析を行い既存非合成橋梁の実耐荷力を評価した。

FEM解析と実測値との比較から、非合成桁として設計されてはいるが桁と床版の合成作用が認められ、対象橋梁(TL20で設計)は、TL25荷重に十分耐えうるといえる。

概要：

既存非合成桁橋梁のFEMモデル化では、床版を構造部材としない非合成モデルおよび構造部材とする合成モデルを作成した。両モデルとも、対傾構などの2次部材までモデル化し、また、死荷重に対しては鋼桁部のみで対抗するものとした。非合成モデルでは、床版を省略し、活荷重を直接載荷した。

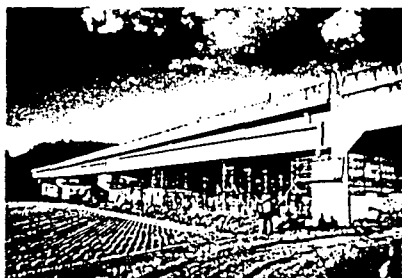


図1 帯川橋外観

表1 帯川橋諸元

|      |                       |
|------|-----------------------|
| 橋種   | 4径間連続非合成桁橋            |
| 橋長   | 191.7m                |
| 支間長  | 4@47.65=190.60m       |
| 幅員   | 10.000m               |
| 設計荷重 | TL20                  |
| 舗装   | アスファルトコンクリート舗装 t=75mm |
| 床版   | 鉄筋コンクリート床版 220mm      |
| 勾配   | 縦断勾配 2.95% 横断勾配 2%    |

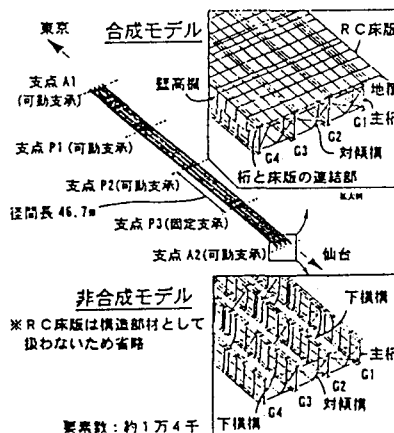


図2 FEMモデル

静的載荷試験結果をFEM解析結果と比較した結果、実測値が合成モデルを用いた解析結果と近いことから、現実には合成橋梁として挙動していることがわかる。

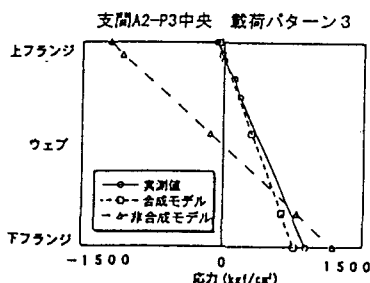


図7 ウェブ応力の実測値および解析値

表3 静的載荷試験結果と解析値の比較

| 支間A2-P3中央外桁G4下フランジ応力 (kgf/cm <sup>2</sup> ) | 支間A2-P3中央外桁G4下フランジ応力 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |              |
|---|---|--------------|
|   | 実測値   | 合成モデル 非合成モデル |
| 載荷パターン1                                     | 1054  | 1004 1207    |
| 載荷パターン2                                     | 1238  | 1179 1439    |
| 載荷パターン3                                     | 1808  | 1478 1895    |
| 支間P3上外桁G4下フランジ応力 (kgf/cm <sup>2</sup> )     |   |              |
| 載荷パターン4                                     | -1240                                       | -1187 -1353  |

※実測値にはFEMで求めた死荷重応力を加えて表示

キーワード：合成桁橋梁、非合成桁橋梁、鉄筋コンクリート床版、合成作用、実耐荷力

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：プレートガーダー橋の実橋載荷試験及び立体FEM解析による検証

著者名：窪田賢司、西浩嗣、谷倉泉、上野淳人

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 ページ：pp.618~619  
 概要集 A-I

発行年月日：1998年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

鋼3径間連続非合成钣桁橋を対象に40tトレーラー4台による実橋載荷試験を行い、立体FEM解析により検証、また、現在の設計手法として行われている格子計算との比較によって既設橋の補強設計手法について検討を加えた。

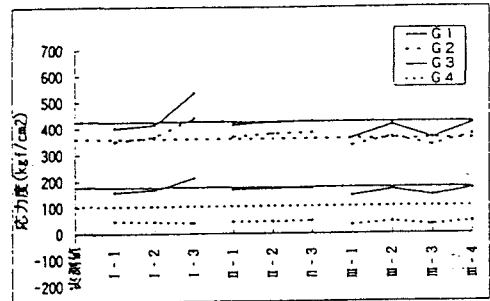
今回の比較から、従来設計で考慮していない部材や構造の挙動についても解析的な面から評価することが可能となった。今後の既設橋の補強対策において、非合成桁の簡易的設計手法としては、合成桁として格子計算により既設橋を照査し、補強対策を施すか否かを判断することも可能かと思われる。ただし、合成桁の機能を有していることを詳細な調査で確認する必要もある。

概要：

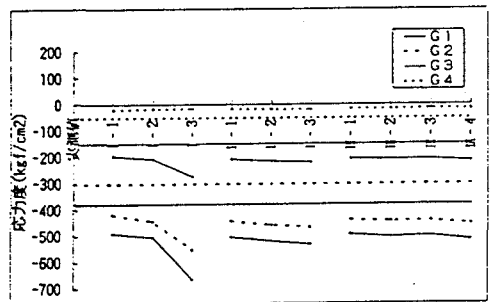
FEM解析モデルは、載荷試験の挙動を忠実に再現できるように表1に示すパラメータを与え影響を調べた。I系は主桁・縦桁と床版の合成の影響、II系は床版剛性Eの影響、III系は支承機能の影響を調べたものである。比較の結果、III-2の解析モデルが実橋の挙動を正確に表すモデルと考えられる。

表1 解析ケース

| パラメータ<br>ケース | 主桁、縦桁と床版<br>の結合状態 |     | 床版の剛性<br>E=2.5×10 <sup>6</sup><br>kgf/cm <sup>2</sup> | 支承の機能状態 |      |
|--------------|-------------------|-----|---|---------|------|
|              | 主桁                | 縦桁  |   | 変位機能    | 回転機能 |
| I-1          | 合成                | 合成  | E×1.0   | バネ      | 固定   |
| I-2          | 合成                | 非合成 |   |         |      |
| I-3          | 非合成               | 非合成 |   |         |      |
| II-1         | 合成                | 非合成 | E×1.0   | 固定      | 固定   |
| II-2         |                   |     | E×0.8   |         |      |
| II-3         |                   |     | E×0.6   |         |      |
| III-1        | 合成                | 非合成 | E×1.0   | 固定      | 固定   |
| III-2        |                   |     |   | バネ      | 固定   |
| III-3        |                   |     |   | 固定      | バネ   |
| III-4        |                   |     |   | バネ      | バネ   |



(a) スパン中央



(b) 支点部

図2 下フランジ応力度

また、立体FEM解析と格子計算の比較については下表のようになった。

表2 外桁下フランジ応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

| 応力の比較 | 実測値                  | 立体FEM解析結果 |      |      |       |       | 格子計算 (合成桁) |      |       | 格子計算 (非合成桁) |      |       |
|-------|----------------------|-----------|------|------|-------|-------|------------|------|-------|-------------|------|-------|
|       |                      | L'        | L    | L    | D     | L'+D  | L+D        | L    | D     | L+D         | L    | D     |
| スパン中央 | 425                  | 412       | 637  | 778  | 1190  | 1415  | 1038       | 832  | 1870  | 1347        | 903  | 2250  |
| 支点部   | -380                 | -506      | -400 | -697 | -1203 | -1097 | -646       | -860 | -1506 | -826        | -936 | -1762 |
| 許容応力度 | 側径間中央：1900、支点部：-1633 |           |      |      |       |       |            |      |       |             |      |       |

注) D:死荷重、L:活荷重載荷、L':40tトレーラー4台載荷

キーワード：プレートガーダー橋、載荷試験、FEM解析、格子計算、補修・補強

文献整理

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：余剰耐力および冗長性を考慮した構造解析による検討

著者名：山川雅敏、杉館政雄、小林俊夫、伊藤裕一、佐藤大輔

出典名：土木学会第53回年次学術講演会 概要集 A-I ページ：pp.550~551

発行年月日：1998年10月

発行元：(社)土木学会

要旨：

構造物の冗長性や余剰耐力を評価するには、実態に合わせたFEM構造解析が有効でそのための標準化が必要になる。ここでは、標準的な鋼鉄道橋である上路プレートガーダーおよびトラス縦桁を例にとって解析を行った。なお今回は、部材の破断時の挙動および補強時の挙動たわみをベースに検討した。

概要：

検討の結果、次のことがわかった。

- ① ラタル及び対傾構を設けることによって異常時のたわみ及び応力値を低減することができた。
- ② 解析モデルにレールを追加することにより実態に近づくことがわかった。
- ③ パラメータ解析の基礎データの収集ができた。

これらは、構造物の冗長性の向上及び余剰耐力の票かにつなげることができるとと思われる。ただし実態に合わせたFEM構造解析の標準化のためにパラメータ解析を行っていくには、実態との比較や検討が必要であると考えている。

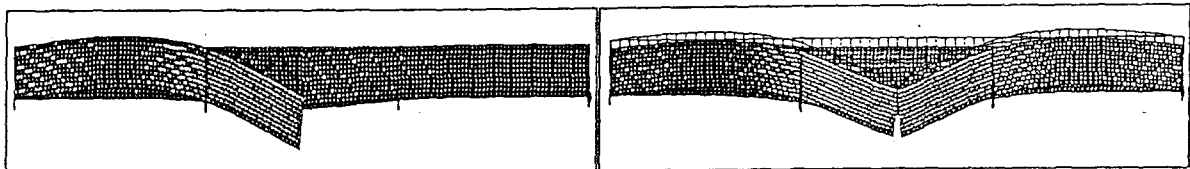


図-3(a) レールなし・ラテラル・対傾向設置前

図-3(b) レール考慮・ラテラル・対傾向設置後

表-3 解析結果一覧表

| レール考慮 | 下ラテラル  | 対傾構体数 | き裂箇所  | 最大たわみ<br>(mm) | たわみ(mm) |      |      | 応力(MPa)<br>下フランジ |      |
|-------|--------|-------|-------|---------------|---------|------|------|------------------|------|
|       |        |       |       |               | 破断桁     | 反対桁  | 差    |                  |      |
| レールなし | ラテラルなし | 現状    | なし    | 3.9           | 3.8     | 3.3  | 0.5  | 36.2             |      |
|       |        |       | 中央    | 21.5          | 21.5    | 5.0  | 16.5 | 40.4             |      |
|       |        |       | 交差部   | 70.1          | 70.1    | 1.3  | 68.8 | 45.5             |      |
|       | ラテラルあり | 3箇所増設 | 現状    | 中央            | 13.6    | 13.4 | 5.0  | 8.5              | 46.1 |
|       |        |       | 3箇所増設 | 中央            | 9.1     | 8.7  | 5.0  | 3.7              | 54.4 |
|       |        |       |       | 交差部           | 11.8    | 11.7 | 1.5  | 10.2             | 49.7 |
| レールあり | ラテラルなし | 現状    | なし    | 3.8           | 3.7     | 3.2  | 0.5  | 36.5             |      |
|       |        |       | 中央    | 5.6           | 5.3     | 2.8  | 2.5  | 33.3             |      |
|       |        |       | 交差部   | 4.2           | 1.5     | 1.1  | 0.4  | 36.5             |      |
|       | ラテラルあり | 3箇所増設 | 現状    | 中央            | 4.1     | 4.0  | 3.2  | 0.8              | 39.7 |
|       |        |       | 3箇所増設 | 中央            | 4.1     | 4.0  | 3.2  | 0.8              | 39.7 |
|       |        |       |       | 交差部           | 3.8     | 1.1  | 0.9  | 0.2              | 37.3 |

キーワード：鋼鉄道橋、FEM構造解析、パラメータ解析、余剰耐力、冗長性

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：磁気異方性を利用した応力測定法の橋梁への利用検討

著者名：境 禎明、津村 直宜、高田 恭一、田村 尚美

出典名：日本非破壊検査協会

ページ：pp. 87~88

平成10年度秋季大会講演概要集

発行年月日：1998年11月

発行元：日本非破壊検査協会

要旨：

磁歪応力測定法は簡便性（測定時間が約1分/点）や高い安定性（ゲージのような経年管理が不要）、さらに非接触測定が可能なこと（塗膜上測定が可能）などの特徴がある。

今回、本計測法の橋梁への適用性を見るため、模型橋梁に対し載荷試験を行った。

本法とひずみゲージ法の測定値を比較した結果、両者は非常によく一致し、磁歪応力測定法が橋梁の保守診断のための有効なツールとなると考えられる。

概要

磁歪測定法は、被測定物の透磁率が引張応力方向に僅かに大きくなり磁気異方性が生じる原理を利用したものである。透磁率の異方性は直交する2軸の応力差 $\sigma_x - \sigma_y$ に比例する。

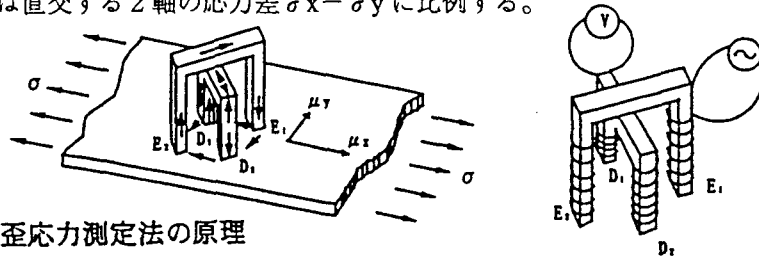


図1 磁歪応力測定法の原理

本法を橋梁の保守診断に適用するため、3点曲げ載荷試験を行い、ウェブおよびフランジに発生する応力を測定した。

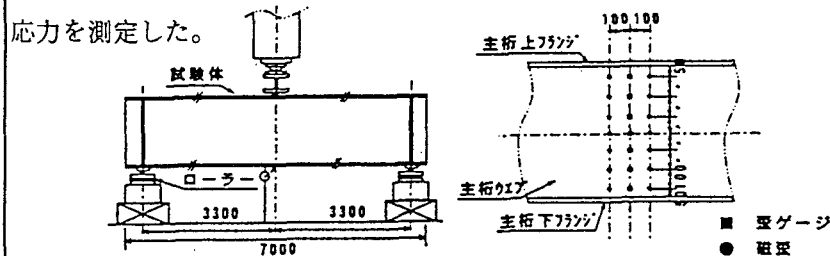


図2 実験の概要と測定位置

これを、ひずみゲージ法での測定結果と対比したところ、両者の差は概ね10MPa程度の範囲に収まった。なお、磁歪測定による計測データに関しては、荷重載荷状態での計測データから非載荷状態の数値を減算して、負荷応力の主応力方向で整理したものである。

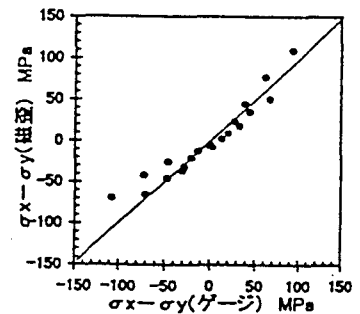


図5 ゲージとの比較

キーワード：橋梁、保守、磁気異方性、磁気ひずみ、応力測定

文献整理票

WG1：古い構造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：磁歪応力測定システムによる橋梁架設時の応力測定実験

著者名：境 禎明、津村 直宜、高田 恭一、田村 尚美

出典名：日本非破壊検査協会  
平成10年度秋季大会講演概要集

ページ：pp. 89～90

発行年月日：1998年11月

発行元：日本非破壊検査協会

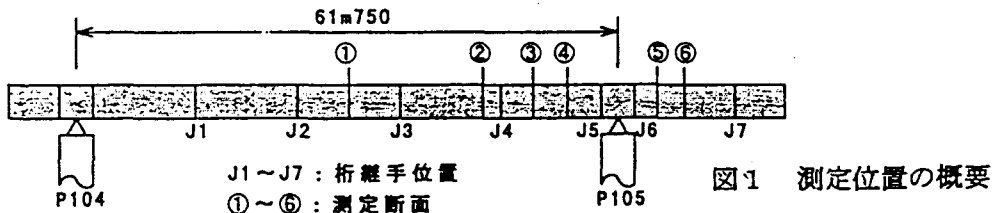
要 旨：

供試体の荷重実験より、橋梁への適用可能性が認められたので、今回、首都高速道路の新設橋を対象とした応力測定実験を実施した。実験では、主桁の各断面に測定点を設定して、磁歪応力測定法ならびにひずみゲージ法によって桁架設時の応力を測定した。両者の測定値は非常によい一致が見られ、計算値応力との比較でも良好であった。ここでは桁架設時の測定結果について報告する。

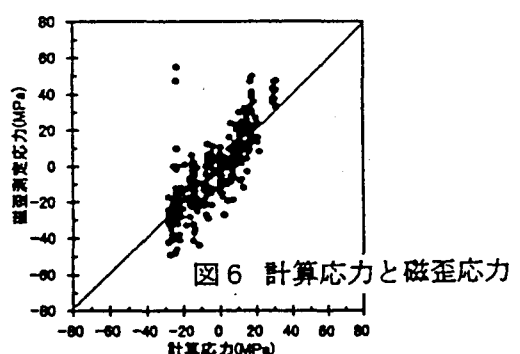
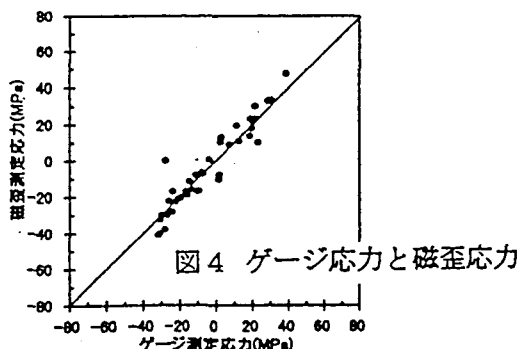
なお、実験には新規に開発した「橋梁用磁歪応力測定システム」を使用した。

概 要

- ・実験要領 対象橋梁は4箱桁断面橋。主桁ウェブならびに下フランジの応力を測定した。実験は工場での桁の製作工程別残留応力の測定および現地での架設工程別の応力測定など多岐にわたっている。ただし、本文では桁架設時のみ報告。今回の評価では工場発送直前の測定結果を初期値とし、現地架設時に発生した応力を相対的に評価する。



- ・測定システム 橋梁構造物の測定のため機動性、簡便性に留意し新規に開発した「橋梁用磁歪応力測定システム」を今回の実験に使用した。本システムはノート型パソコンによって測定操作およびデータ処理を集中的に行うことができる。
- ・測定結果 ひずみゲージの測定値および計算応力との間に非常に高い相関が得られた。



キーワード：橋梁、保守、磁気異方性、磁気ひずみ、応力測定

文献整理票

WG1：古い建造物の材料特性、構造特性、耐荷力評価の方法について

文献名：長距離パイプラインのライフタイム危険度評価について

著者名：小池 武\*

出典名「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol. 48, No. 1 ページ： pp. 83-88,

発行年月日： Jan. 1999 発行元：(社)日本材料学会

要 旨：

本論文でとりあげる長距離パイプラインは、都市ガスの  
 高圧導管あるいは発電所間のエネルギー輸送管路に相  
 当するパイプラインであり、形態的には非ネットワーク  
 構造であることが多く、基本的性格として長距離、高圧、  
 埋設を主とする幹線ラインという特徴を有している。そ  
 の結果、長距離パイプラインは日常の一般的な荷重だけ  
 でなく、地震、地盤破壊などの突発的自然災害に対しても  
 十分な安全性を有する必要がある。安定供給のための  
 構造強度的保証を求められる。また、安定供給を維持す

るためには、輸送システムとしてパイプラインの流送状  
 況を常時監視するとともに、それを支える流送予測シス  
 テム、運転監視・制御支援システム、漏洩検知システ  
 ム、地震時復旧支援システムなどさまざまな運転支援シス  
 テムを整備することが不可欠となる。

本研究では、高圧ガス導管を中心とする長距離パイ  
 プラインの構造安全性について、とくに管特有の破壊限界  
 状態に対するライフタイム危険度評価<sup>1)</sup>を行なう方法論  
 を展開する。

概 要

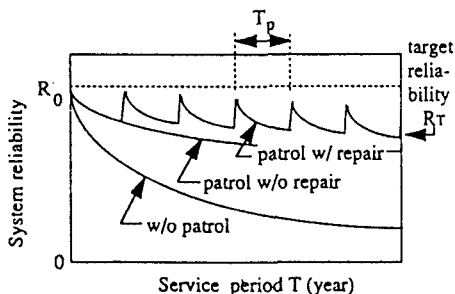


Fig. 1. Schematic figure of lifetime reliability of the pipeline under periodic inspections.

Table II. Design factor F of ANSI B31.8<sup>1)</sup>

| Construction type | Design factor F | Area description   |
|-------------------|-----------------|--|
| A                 | 0.72            | sparsely populated area (mountain, deserts, farmland, etc) |
| B                 | 0.60            | fringe areas around cities or towns                        |
| C                 | 0.50            | cities or towns with no building over three stories tall   |
| D                 | 0.40            | areas with taller buildings                                |

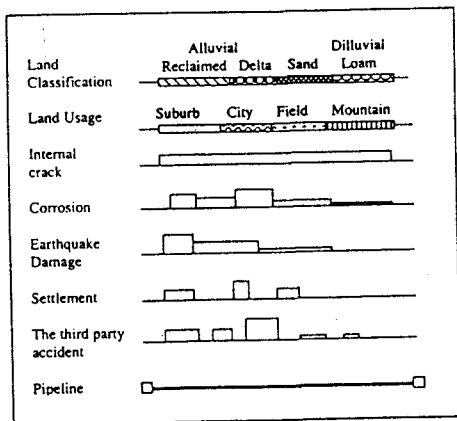


Fig. 5. Spatial damage distributions and their occurrence pattern along the pipeline.

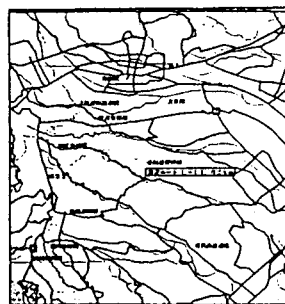


Fig. 3. Pipeline configuration on the GIS screen.

キーワード： Transmission pipeline, Lifetime failure, Maintenance activities, Probability, Earthquake, Defect