

第31回  
千葉県非破壊検査研究会・研究発表会  
講演資料

日時 平成29年2月21日(火)  
13:20~17:00  
場所 ホテルポートプラザちば

## 目次

### 1. 研究発表

- ①赤外線サーモグラフィにおける、プラント設備の適用例とドローン機器の活用 … 1  
日本アビオニクス㈱ 赤外線サーモグラフィ事業部 営業部主任 遠藤健
- ②CFRP材の減肉の3D超音波カメラシステム・SonaCam・ソナテスト社製の適用例と評価  
……………19  
ポニー工業㈱ 営業本部 営業企画室 金井大樹
- ③配管架台接触部の減肉量評価法 ……28  
新日本非破壊検査(株) 安全・品質管理課 長島麻衣
- ④LEDブラックライトの現状 ……39  
栄進化学(株) 開発技術センター 高橋義和、日時修一  
茨城工場 ○相村英行

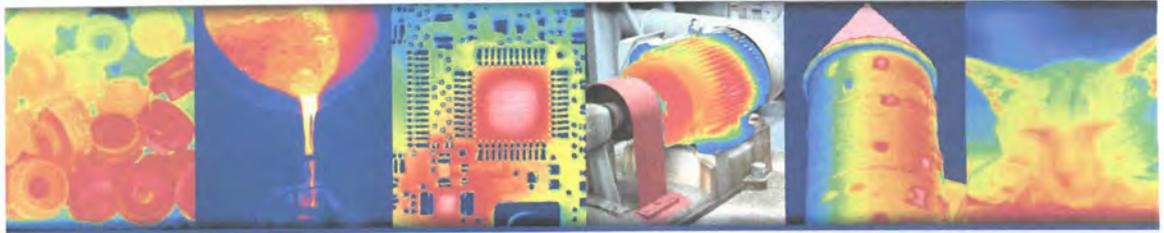
### 2. 特別講演

- 演題：コンクリートに関する非破壊・微破壊試験方法の現状 ……59  
講師：日本大学 生産工学部 教授 湯浅昇 氏

## 赤外線サーモグラフィにおける プラント設備の適用例とドローン機器の活用

複製厳禁

2017年2月21日  
赤外線サーモグラフィ事業部  
営業部 遠藤



 日本アビオニクス株式会社

## 目次

- 会社案内
- 赤外線サーモグラフィとは
- 製品ラインナップ
- プラント設備の適用事例
- ドローンとの組合せによる適用事例

会社案内

## 日本アビオニクスのご紹介

- アビオニクスとは、アビエーション(航空)+エレクトロニクス(電子機器)=航空機搭載用レーダ
- 日本の防空システムを構築するため、NECとヒューズエアクラフト(米国)の合併で設立
- 現在も売上の約50%は防衛関係だが、防衛技術を民生に展開。幅広い分野に貢献



商号	日本アビオニクス株式会社 Nippon Avionics Co., Ltd.
本店所在地	〒141-0031 東京都品川区西五反田8-1-5 五反田光和ビル TEL:03-5436-0600
設立	昭和35年4月8日
資本金	58億9千5百万円
株式	東京証券取引所 第2部上場
従業員数	単体: 752名 連結: 1,014名 (2016年3月末現在)
売上高	単体: 22,757百万円 連結: 22,920百万円 (2016年3月末現在)



情報システム事業

JAXA規格  
唯一の認定工場！



陸・海・空の安全を守る各種防衛システム用機器・装置の開発・製造・維持や、宇宙・防衛製品、産業機器などに採用されるデバイス製品及び実装技術をご提供します。

接合機器事業

パルスヒート  
シーム溶接  
トップシェア！



「抵抗溶接」、「レーザ溶接」、「パルスヒートはんだ付け」、「超音波溶接」の4種類の接合工法により、お客様のニーズに合わせた最適な接合ソリューションをご提供します。

赤外線サーモグラフィ  
事業

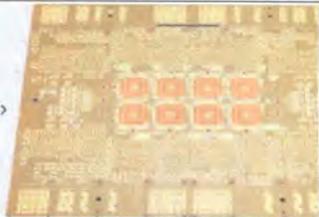
国内サーモ  
トップシェア！



熱を可視化する赤外線サーモグラフィカメラを開発・製造・販売しております。永年培った信頼と実績で、様々なソリューションを組み合わせ、お客様の多様なご要望にお応えします。

プリント配線板事業

42層超高多層  
プリント配線板



半導体試験装置をはじめとして高い信頼性が要求される医療、電力、通信、放送などの社会インフラ機器、また航空機や人工衛星搭載機器に採用されるプリント配線板をご提供します。

赤外線サーモグラフィ事業部の事業領域

- 見えないものを見る赤外線センシング技術で、社会の安心と安全に貢献します

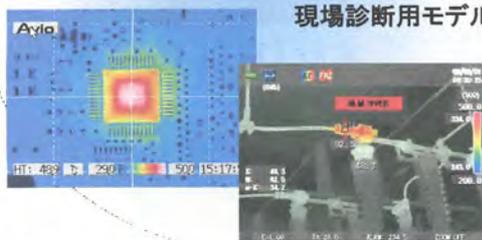
ポータブル型カメラ製品

システムソリューション



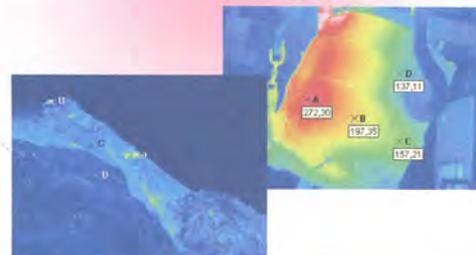
多目的モデル

現場診断用モデル



防爆用設置型モデル

監視用設置型モデル



補足説明:

現在の当社 赤外線事業は、2008年～日本アビオニクスの赤外線事業と旧NEC三栄との統合しました。

# InfReC<sup>®</sup> InfraRed Camera

「InfReC (インフレック)」は「Infrared Camera」(赤外線カメラの意味)を略した造語であり、「赤外線(Infrared)の情報(Information)を記録する装置(Recorder)」と言う意味を併せ持ちます。

赤外線カメラの市場が、温度計測の分野に留まらず急速な拡大を見せる中、当社は赤外線に関するノウハウを駆使し、社会の安心・安全と環境の保護に向けた新たな価値を創造し、ご提供して参ります。





60 distributors in 50 countries

- Overseas Office
- Infrared Distributors
  - Measuring Instruments
  - Infrared & Measuring Instruments
  - = with service center

当社サーモグラフィカメラの歴史

1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2010年
<p>6T06 (1971年)</p>	<p>6T61 (1983年)</p>	<p>TH1100 (1990年)</p>	<p>TH9100 (2003年)</p>	<p>R500EX (2016年)</p>
<p>6T07 (1978年)</p>	<p>6T62 (1987年)</p>	<p>TH3000 (1993年)</p>	<p>TH7102 (1999年)</p>	<p>G120/100 (2010年)</p>
<p>Avio1号機 フローファイ (1978年)</p>	<p>TVS-5000 (1988年)</p>	<p>TH5104 (1997年)</p>	<p>TH6200 (2004年)</p>	<p>R300BPシリーズ (2016年)</p>
<p>TVS-4000 (1982年)</p>	<p>TVS-3000 (1986年)</p>	<p>TVS-100 (1992年)</p>	<p>TVS-700 (2002年)</p>	<p>Thermo Shot F90 (2008年)</p>
<p>TVS-2000 (1989年)</p>	<p>TVS-8000 (1993年)</p>	<p>TVS600 (1997年)</p>	<p>TVS-200 (2004年)</p>	<p>R300SR (2012年)</p>
<p>TVS-8500 (2000年)</p>	<p>TVS-500EXZ (2007年)</p>	<p>TVS-700 (1997年)</p>	<p>TVS-500 (2006年)</p>	<p>R300SR (2012年)</p>
	<p>H8000 (2013年)</p>			<p>H8000 (2013年)</p>

赤外線サーモグラフィとは

赤外線サーモグラフィカメラとは

- 赤外線サーモグラフィカメラは、物体から自然に放射される赤外線の強度を、特殊なレンズとセンサーで映像化し、表示あるいは記録する装置
- 赤外線の放射強度を測定することで、物体表面の温度値を推定

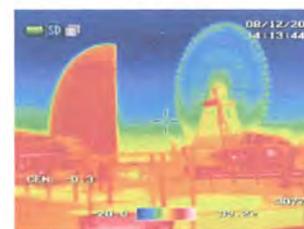
可視画像



サーモグラフィカメラ



熱画像



赤外線  
エネルギー

エネルギー量を  
デジタルに変換

熱画像表示  
温度計測

## ■非接触による測定

- ▶ 物体に触れず、離れたところから測定が可能
- ▶ 足場や高所作業車が不要
- ▶ 高所・危険箇所、微小物の測定

## ■画像・映像による測定

- ▶ 1点の温度値ではなく、広範囲の温度分布を映像化
- ▶ 効率的かつ確実な異常温度箇所の検出
- ▶ 画像データとして保存でき、解析やレポート化が可能

## ■リアルタイム・高速測定

- ▶ 応答速度が速く、リアルタイムの計測が可能
- ▶ 瞬間の現象、移動体・回転体など

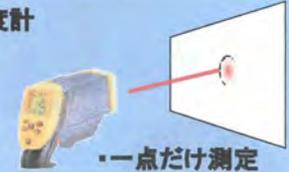
サーモグラフィカメラは、「温度計」であり、「映像装置」です。このことをよく理解することで適用範囲が広がり、また、装置をより有効に使うことができます。

温度計、熱伝対



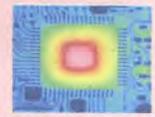
- ・一点だけ測定
- ・接触式

スポット温度計

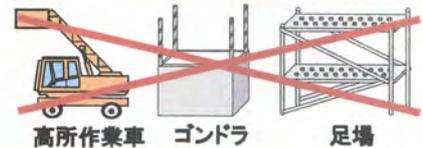


- ・一点だけ測定

サーモグラフィ



非接触で画像化



高所作業車

ゴンドラ

足場

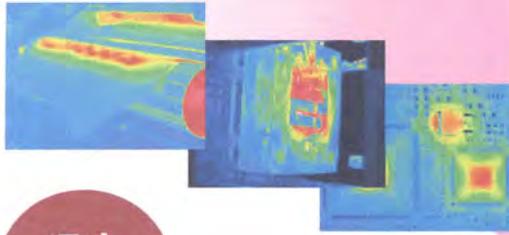
製品ラインナップ

# サーモグラフィカメラのアプリケーション分類



## □検査・試験(品質管理)

電子機器、金型、石油化学製品、電子基盤など



## □点検・診断(保守・保全)

電気・機械設備の点検、構造物・医療診断など



温度計測

画像解析



## □評価(研究・開発)

企業、大学、研究所などのさまざまな研究テーマ



## □監視(セキュリティ)

火山監視、侵入者監視、車両・船舶への搭載など

# インフレックシリーズ ラインナップ



ポータブル

先端研究開発/高度非破壊検査  
超高感度、高速現象、微小物の測定に



Hシリーズ



H8000

一般研究開発/構造物劣化診断  
高画質、高感度、高機能/豊富なオプション



Rシリーズ



R500EXシリーズ\*



R300SRシリーズ\*

特殊計測の研究開発/設備診断  
火炎越し、ガラス越し、ガラス表面、火炎



Rシリーズ



R300BPシリーズ\*

現場設備保全/住宅断熱診断  
現場向きの操作性、バッテリー長時間駆動



Gシリーズ



G100EXシリーズ\*

設置・組み込み

プロセス管理/モニタリング  
常時温度計測/FA、設備監視、発火監視



TS/Sシリーズ



TS600シリーズ\*



TS9230シリーズ\*



S25シリーズ\*

防爆エリア監視/ドローン搭載  
化学プラント等監視/ドローン・ロボット搭載



SZ/Uシリーズ



防爆用サーモ



ドローン搭載用  
リモートサーモ

## 火炎越し計測モデル

New

InfReC R300BP-TF

国産非冷却型センサ搭載  
燃焼炉内の火炎を除去して内部の温度を鮮明に画像化！

- ・センサ 320×240画素
- ・測定波長 3.7μm~3.9μm
- ・測定温度範囲 400~1500℃
- ・温度分解能 4.0℃~
- ・空間分解能 1.2mrad
- ・質量 1.5kg
- ・SDカード動画記録
- ・防護シールド標準付属



## ネットワーク対応設置型モデル

New

InfReC TS600

汎用プロトコル搭載でプロセス監視/制御から防災・防犯まで  
様々な監視・制御に威力を発揮するサーモカメラ

- ・センサ 640×480画素
- ・測定温度範囲 -40~1500℃
- ・温度指示精度 ±2 or ±2%
- ・汎用プロトコル Modbus TCP/  
OnVIF対応
- ・SDKが標準添付



## 防爆対応設置型モデル

特注品

防爆エリア内の設備を常時監視  
異常加熱を瞬時に検知し警報出力！

- ・センサ 320×240画素
- ・測定温度範囲 -40~500℃
- ・国際整合防爆指針(2008EX)に適合
- ・スマートなインターフェイス



## 現場診断用ポータブルモデル *Thermo GEAR*

InfReC G120EX/G100EX/G100

現場を追求した道具(GEAR)と言う名のサーモカメラ

- ・センサ 320×240画素
- ・測定温度範囲 -40~1500℃
- ・温度分解能 0.04℃~
- ・フレームレート 60Hz
- ・使いやすい32° 広角レンズ
- ・270°回転モニタ搭載
- ・バイブレーションアラーム機能
- ・SDカード動画記録



## ドローン搭載用モデル

プロトタイプ品

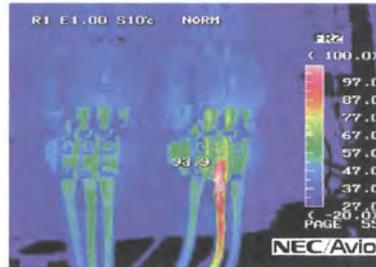
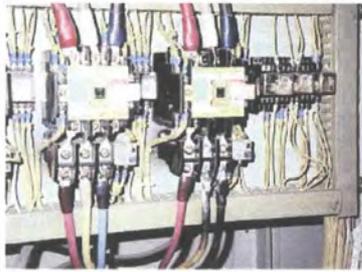
わずか400gでSDカードスロットと可視カメラ内蔵  
マルチコプター(ドローン)への搭載に最適！

- ・センサ 320×240画素
- ・測定温度範囲 -40~1500℃
- ・温度分解能 0.04℃~
- ・SDカードに温度データ付き熱画像記録を記録
- ・外部トリガによりSDカードに記録可能
- ・熱画像と同時に可視画像を記録

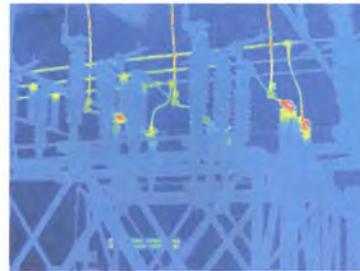


## プラント設備による適用事例

■ 配電盤のショート検出



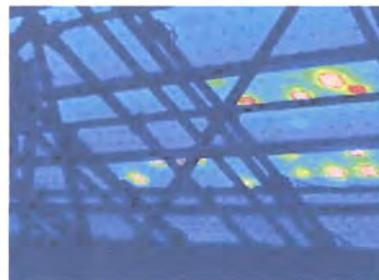
■ 変電設備の異常検出



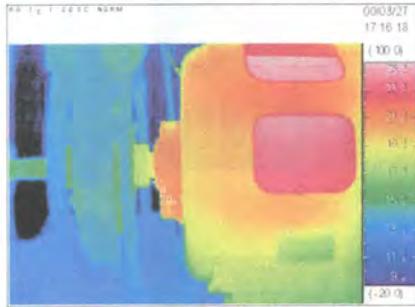
■ 送電線や電気設備



■ 太陽光発電設備



- モータのベアリング不良による発熱やカップリングの軸心出し不良による発熱を検知する事でモータの故障を予知するのに役立ちます。
- エレベータモータなどの研究開発にも使用されています。



軸受け部の熱画像(正常品)



エレベータモータの熱画像

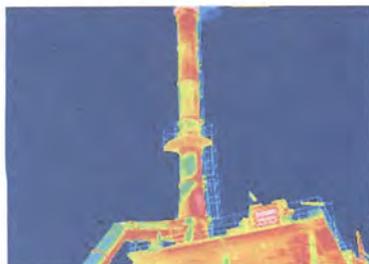


- 配管の断熱不良点検

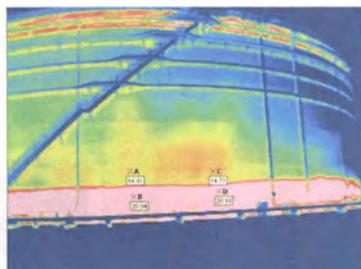


フレアスタッグの確認

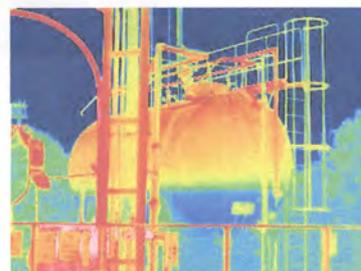
- 煙道の断熱不良



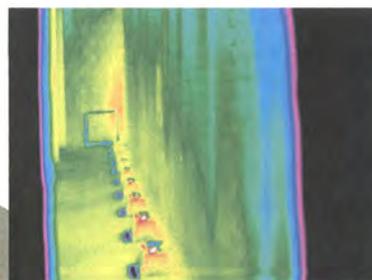
## ■ タンクのスラッジ堆積



## ■ タンクの液体残量確認



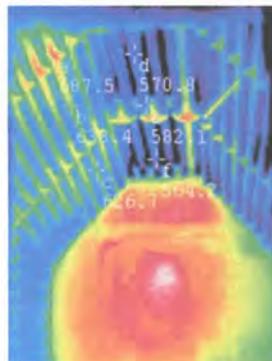
## ■ ボイラ内の炉壁などの状態確認



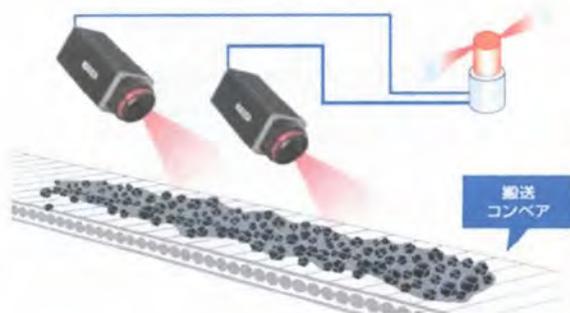
## ■ パーナー部の状態確認



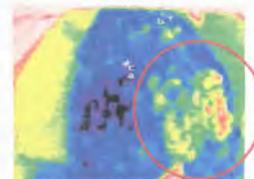
- 加熱炉内でコーキングが起きると局所的な温度上昇に伴うクリーブ損傷が起こり、亀裂が進展、高圧の内圧により加熱炉管が大きく開口すると共に炉内に漏洩した重油及び水素の混合物が着火して重大事故(爆発/火災)につながる可能性があります。
- 炎越しフィルタ搭載のサーモグラフィで加熱炉内の異常温度をチェックすることで火災など重大事故防止に貢献します。



- 高速で移動する石炭をモニタでリアルタイムに監視しながら異常温度を確実に検知し、警報を出力します。



正常な熱画像イメージ



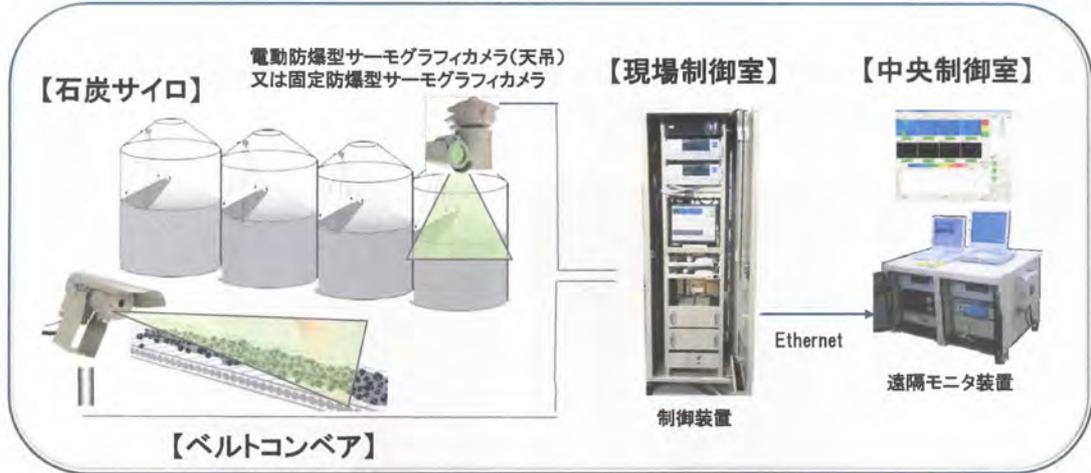
異常な熱画像イメージ



## 常時監視：石炭サイロ発火監視(防爆エリア)



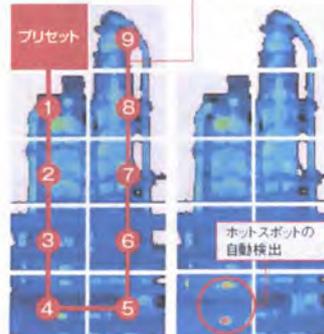
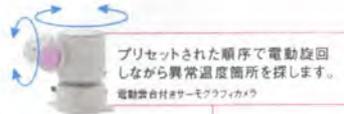
- 石炭サイロやベルトコンベア上の石炭表面の異常温度を瞬時に検知して、自然発火等による火災の早期発見と未然防止を目的とする防災監視システムです。



## 常時点検：化学反応炉 異常発熱監視(防爆エリア)

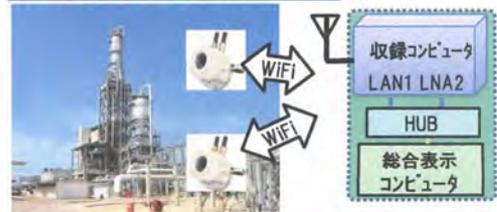


- 電動雲台付きサーモグラフィカメラと高分解能なカメラレンズを組合せ広域エリア監視を実現します。
- 監視エリア内をプリセット位置に従い循環監視し、ホットスポットを発見します。



- さらに、無線によるシステム構築が可能です。

### 防爆エリアの無線監視



- 危険箇所を機動的に監視・プラントの安心安全に貢献
- 災害を未然に防止(監視要員の安全確保)

- 赤外線サーモグラフィの長所を生かし、夜間や暗闇での進入者監視に応用されます。
- 映像監視システムで汎用的なプロトコルである、ONVIF (Open Network Video Interface Forum)により、既設の監視カメラシステムのネットワークに簡単にアドオンすることが可能です。また、NTSC出力により、アナログ画像監視システムにも対応可能です。



## ドローンとの組合せによる適用事例

### ■維持管理と危機管理の市場が拡大

- ▶ 原発問題に端を発し、**自然エネルギー**や代替エネルギー向けのアプリが増加
  - ▶ **メガソーラー**点検の需用が拡大
  - ▶ 海外から低質な**石炭**が輸入され、発火・爆発のリスクが増大
- ▶ 工場のプラントや製鉄所等の**老朽化**が進み、**爆発事故**が多発
- ▶ **火山**の噴火や、エボラ出血熱等の**感染者**流入対策など、危機管理市場が拡大
- ▶ 2020年 **東京オリンピック**に向けて、湾岸や重要施設の監視、道路や橋梁の維持管理への関心が高まりつつある



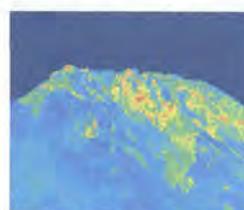
### ドローンに搭載可能な赤外線サーモグラフィカメラの開発



ソーラーパネル点検



石炭サイロ 発火監視



火山監視

## 赤外線サーモグラフィとドローンの組合せによる特長

### ■効率的な点検が可能

- ▶ 広大な敷地に施設されているメガソーラー設備などを**短時間**で点検が可能
  - ▶ 例)500kW(約8000m<sup>2</sup>) 約4~5時間だったのが、約15分程度
- ▶ 老朽化が進む道路や鉄道の橋梁、ビルの外壁、工場の設備診断では、**足場**や**高所作業車**が不要になる

### ■安心/安全

- ▶ 災害地や危険区域など、**人間の立ち入りが困難な場所**への侵入が安全かつ容易
- ▶ 高所な煙突、風力発電、構造物などでは、**人間が高所まで行かなくて済む**ため、安全である

### ■昼夜を問わずリアルタイム映像の出力が可能

- ▶ サーモカメラは真っ暗でも**昼間変わらずクオリティの映像**をリアルタイムに出力することができるため、セキュリティ用途に有効

わずか400gでSDカードスロットと可視カメラを内蔵  
マルチコプター(ドローン)への搭載に最適!

プロトモデル

- ◆ 320×240画素の高性能センサを搭載。0.04℃の温度分解能と1/100秒の応答性でブレのない鮮明な熱画像を記録します。
- ◆ UAVからの接点信号の入力をトリガーに、SDカードへの画像記録が行えます。
- ◆ 記録モードは、静止画像記録/3秒～インターバル記録/最大10Hzの動画記録から選択できます。
- ◆ サーモグラフィ(熱画像)と同一アングルの可視画像を同時記録します。



特長1

### 【SDカード記録】

SDカードに温度データ付きの熱画像を記録します。

特長2

### 【遠隔画像記録】

外部トリガーにより、SDカードに必要な画像のみを記録します。

特長3

### 【可視カメラ搭載】

熱画像と同時に、同軸上の可視画像を記録します。



## ■ 太陽光パネル



熱画像

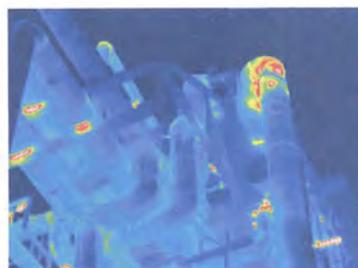
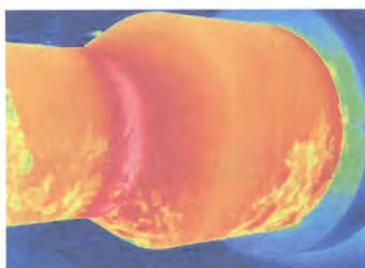


可視画像

## ■ ゴミ処理場や貯炭場などの発火監視



## ■ 化学プラントや製鉄所の巡回点検



ご清聴ありがとうございました



# CFRP超音波カメラ Sonacamのご紹介

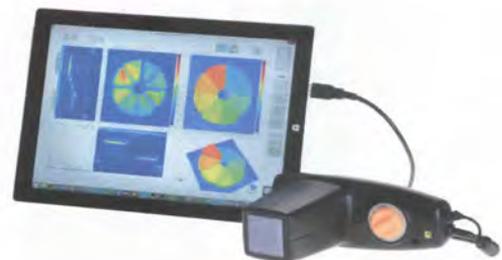
2017年2月21日  
ポニー工業株式会社



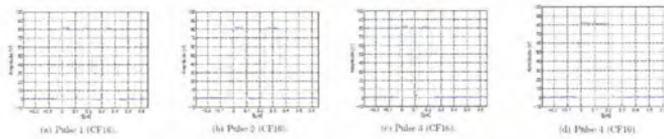
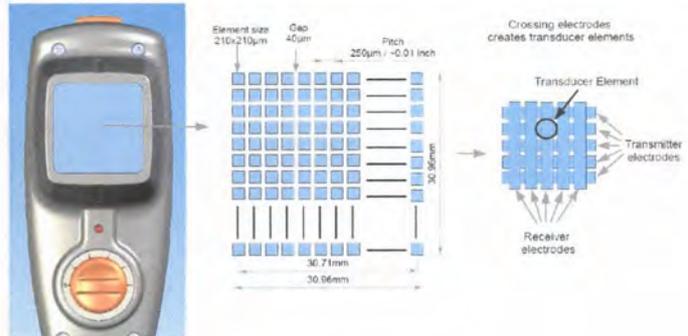
## Sonacamについて



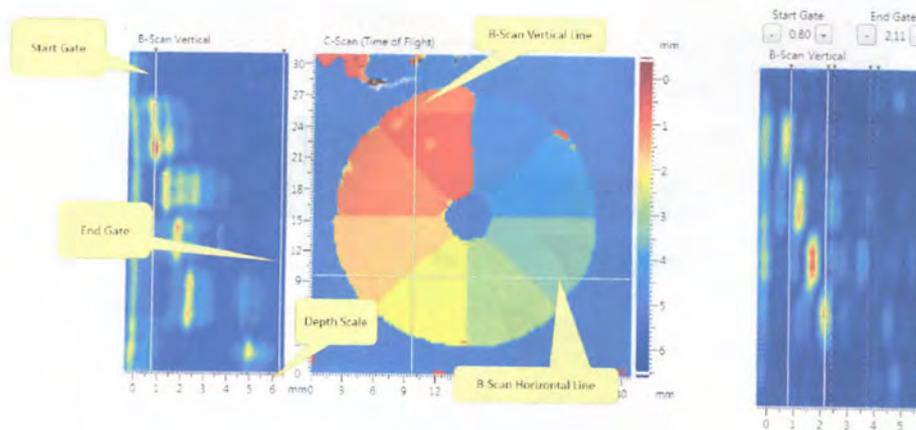
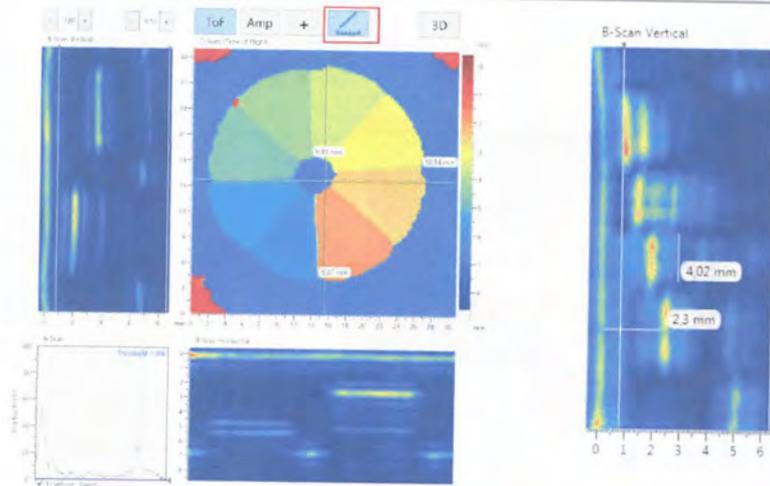
- ・ 16,000の振動子による高分解能イメージ
- ・ ドライカップリング
- ・ ライブA, B, Cスキャン
- ・ 2D, 3Dイメージ
- ・ 広範囲のスキャンが可能
- ・ Windows PC, タブレットで使用
- ・ コンパクトで持ちやすい
- ・ かんたんに使用可能



- 31mm×31mmの探傷域
- 124×124≒16,000の振動子
- t=1~16mmの試験体に対応
- 送信/受信は列ごとに制御  
→マトリクスアレイ
- 検査対象に応じて4種類のパルスから選択



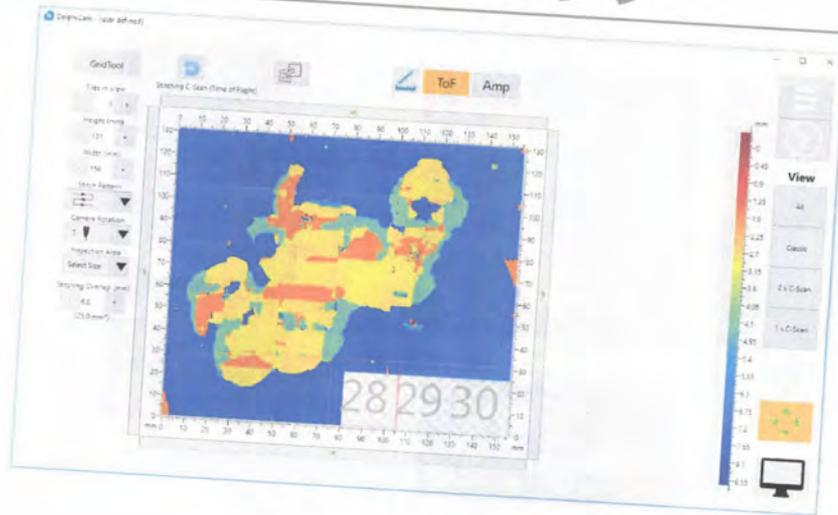
Handwritten notes: 1261 3000 2400 0.25





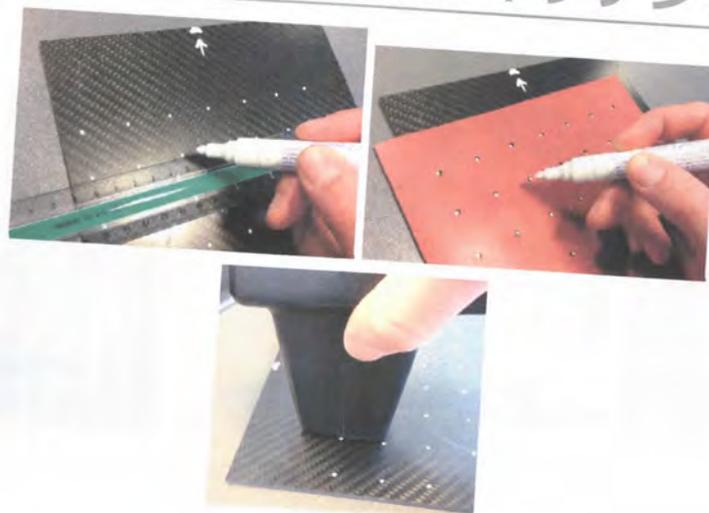
# ステッチング

Pony



# マニュアルステッチング

Pony



### グリッドツール

- ・ 500mm×500mmの検査範囲
- ・ 3分以内でセットアップ可能
- ・ 曲面でも対応可能



9

### 赤外線トラッカー

- ・ 5m×5m×5mの検査範囲
- ・ グリッド線不要
- ・ 曲面でも対応可能



10

- ・ 航空宇宙
- ・ 自動車
- ・ 教育・研究
- ・ その他産業



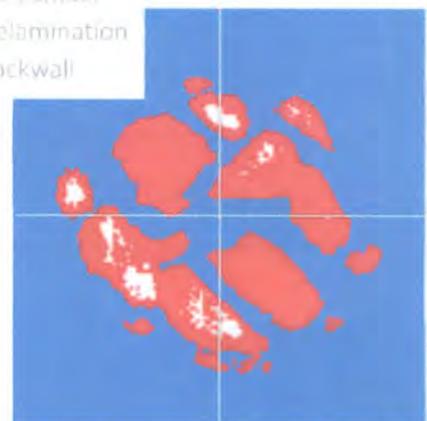
11

Lamborghini, Audi

- ・ NDT検査員が現場でデータ取得
- ・ ドイツにいる専門家が評価
- 専門知識がなくても使用可能
- PDFレポート自動作成機能



- No contact
- Delamination
- Backwall

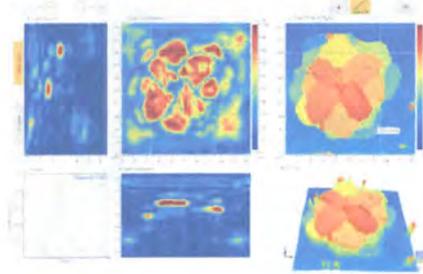


12

Airbus, Boeing

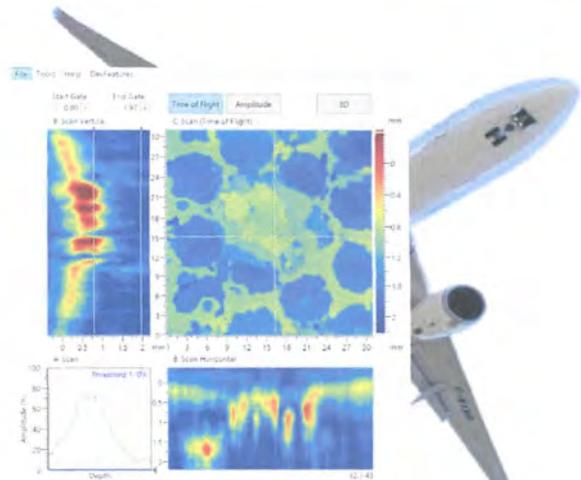
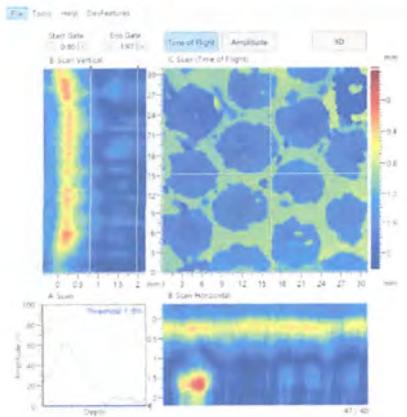
- Airbus : 認証取得
- Boeing : 787の胴体検査手順書

Boeing 787 NDT Manual 51-00-20 Rev 30 Aug 2014



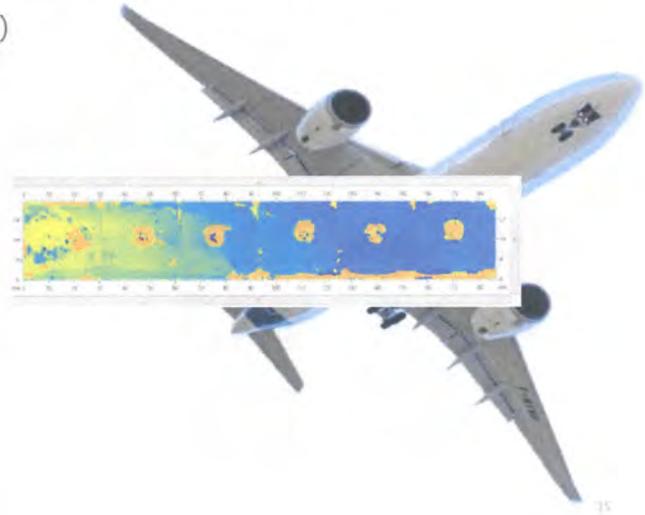
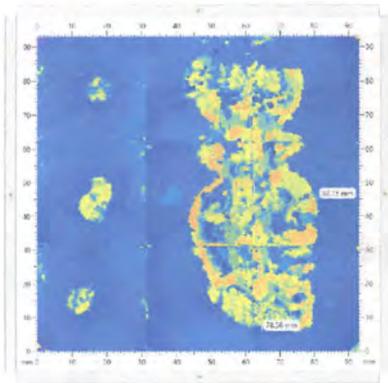
13

- CFRP八二カム接合



14

- ・ アルミニウム材腐食 (t=3mm)



35

- ・ Sonacam-CF08-E
- ・ Sonacam-CF16-E

→対応可能厚さが異なる (1~8mm/1~16mm)  
 →CF08タイプの方が試験体と密着させやすい  
 →その他能力は同じ

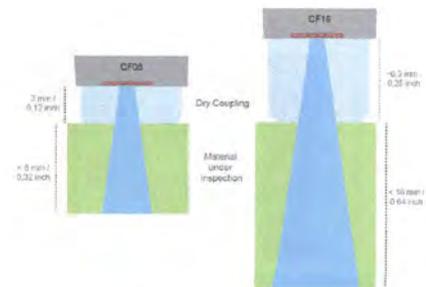


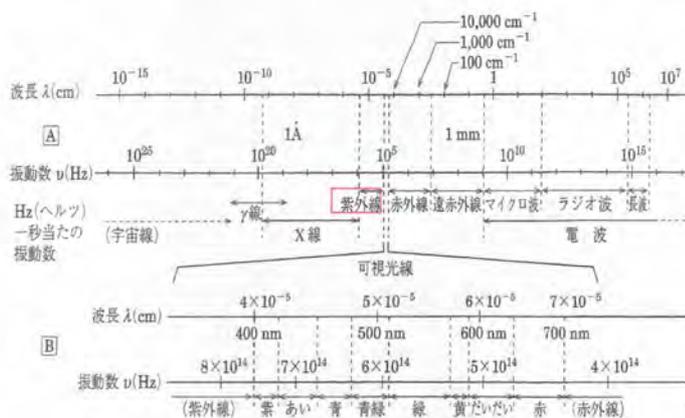
Figure 1 - DolphinCam CF08 versus CF16

16

# 非破壊検査への応用

- ・ 1948～50年代には、各種文献、規格(MIL、AMS、JIS)に蛍光浸透探傷試験、蛍光磁粉探傷試験が登場
- ・ 蛍光染料や蛍光顔料の使用が始まる
- ・ 特長  
人間の目は、暗所視の方が明所視よりはるかに感度が高く、黄緑色付近の色に最も感度が高い、特性がある。

## 2. 非破壊検査で用いる紫外線



- ・ UV-A  
A領域  
紫外線  
波長  
315nm～  
400nm  
最も人体  
に安全  
な紫外  
線

### 3. ブラックライト今昔

#### 1) 高圧水銀灯タイプ

- 特徴・・・水銀蒸気、  
365nm中心の輝線スペクトル
- 寿命・・・水銀ランプは寿命あり  
(初期の70%位の紫外線強度)
- 紫外線強度・・・  
フィルタ面から38cmの距離で  
3000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  MAX
- 構造・・・ランプ、フィルタ、安定器

#### ★弱点

- 出力の大半  
は熱に
- 可視光、有害  
紫外線も発生
- 強度はMAX  
3000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
- 冷えるまで点  
灯しない

#### 1) 高圧水銀灯タイプ

##### ① 携帯型(100W) SC-125型

###### 特長

- 投光器のグリップを手にとって、検査物を局部的に照射するタイプです。
- 照明用として、投光器下部にスポットランプ付き。
- 投光器フィルター前面に保護ガラス付き。
- 投光器取り付けスタンド、予備コンセント付き。

###### 仕様

電源：AC100V 50/60Hz  
入力電流：1.3A  
ランプ電力：100W  
紫外線強度：3600  $\mu\text{w}/\text{cm}^2$  (距離38cm)  
コード長さ：1次側2.5m/2次側3m

	寸法(W×D×Hmm)	重量 (kg)
投光器	130φ×257	1.2
安定器(収納ケース付)	315×150×280	7.8



## ②据置型(800W、400W)

ライン型、800W



S-400型

据置型、400W



L-800型

項目	種類	S C-125 (100 W)		S-400 (400 W)		L-800・L-800D (800 W)	
		100 V	200 V	100 V	200 V	100 V	200 V
電源電流	起動時	0.5 A	1.6 A	8.5 A	4.0 A	3.8 A	1.9 A
	安定時	1.3 A	1.0 A	4.8 A	2.4 A	9.5 A	4.5 A
ランプ電圧		120 V	115 V	130 V	130 V	500 V	500 V
ランプ電流		1.0 A	1.0 A	3.3 A	3.3 A	1.95 A	1.95 A
安定器力率		90%	55%	90%	90%	90%	90%

## 2) メタルハライド(ハロゲン)ランプ

- 特徴・・・水銀、ヨウ化鉄等  
365nm以外にも輝線
- 寿命・・・初期から高強度、  
寿命は水銀ランプの約2倍
- 強度・・・フィルタ面から  
38cmの距離で  
15000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  MAX
- 構造・・・ランプ、フィルタ、  
安定器(電子安定器)

### ★弱点

- 出力の大半は熱に
- 可視光、有害紫外線  
も発生

### ★長所

- 高強度、長寿命
- 携帯型では即時点灯  
も可能

## 2) メタルハライドランプ タイプ (ハロゲンランプ)

### ① 据置型 (1000W)

#### 特 長

- メタルハライドランプ (1000W) を使用したブラックライトです。
- ランプの発光管が長いので照射範囲が広く、しかもその範囲では高い紫外線強度を得ることができます。
- 反射板の位置調節ネジにより、配光が調節できます。
- 投光器内の熱は、ファンにより排出されます。



#### 仕 様

電 源 : AC200V/50Hz・220V/60Hz  
 入力電流 : 6.0A  
 ランプ電力 : 1000W  
 紫外線強度 :  $4000\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (距離65cm)  
 コード長さ : 1次側3m/2次側3m  
 \*電気工事が別途必要です。

#### 特 長

- 点灯1分後すぐ使用できる明るさになります。
- 消灯1分後すぐ再点灯できます。
- 省電力ランプで高い紫外線強度が得られます。
- 光学反射鏡によりスポット部の照射配光が広い。
- 電子式安定器によりランプのチラツキがない。
- 周波数50Hz、60Hz どちらでも使用できます。
- 投光器の直径は小さく、重量も軽い。
- フィルターは強化加工により熱に強い。
- 可視光スポットランプ付き (ボタンスイッチ点灯)
- 投光器取付けスタンド・予備コンセント付き。

#### 仕 様

電 源	AC100V 50/60Hz
入 力 電 流	0.5A
ランプ電力	35W
紫外線強度	$6,000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (フィルター面より38cmの距離)
波 長	315~400nm (主波長365nm)
始 動 方 式	イグナイター (スターター)
周 圍 温 度	5~40℃
ランプ寿命	2,000時間
予備コンセント	2口 (連続6A)
可視光照明ランプ	12V10W
コード長さ	1次側 2.5m/2次側 3m

### ② 携帯型 (35W)



### 3)LEDタイプ

- 特徴・・・UV-LEDを使用  
 ほぼ365nmのみを照射  
**低消費電力、低発熱**
- 寿命・・・紫外線強度の低下ほとんどなく、  
 条件がよければ10000時間以上
- 強度・・・フィルタ面から38cmの距離で  
 10000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  MAX
- 構造・・・UV-LED、光学系、保護ガラス、  
 安定化電源

#### ①携帯型(消費電力10W相当) S-35LC

##### 特長

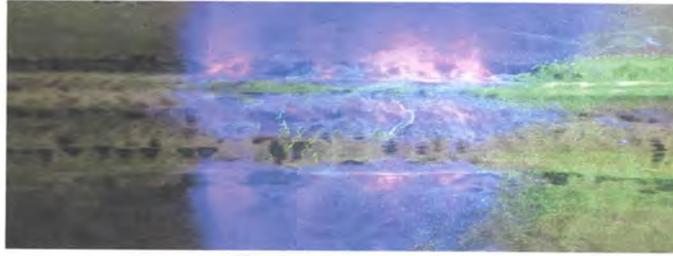
- ◎ 照射範囲が広い から、**見逃さない。**  
 ⇒距離 200mm でも 381mm でも 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  以上の範囲が  $\phi$ 170mm。
- ◎ 照射ムラがない から、**発見しやすい。**  
 ⇒独自の光学設計により、照射範囲内に極端な照度の変化がありません。
- ◎ ハレーションが起きにくい から、**見やすい。**  
 ⇒Vカットガラスは検査に不要な光を大幅にカットし、検査精度を向上させます。



電源	AC100V $\pm$ 10% (50/60Hz)
一次電流	0.3A
光源	紫外線 ピーク波長 365 $\pm$ 5nm (標準: at 25 $^{\circ}$ C) UV-LED 使用 可視光 高輝度白色 LED 使用
紫外線光源の可視光対策	Vカットガラス(標準装備)
紫外線光源の可視光量	10 ルクス (約1 フットキャンドル)未滿 : 距離 381mm (Vカットガラス装着時) 距離 200mm未満では10ルクス(約1フットキャンドル)を超えることがあります。
LED寿命	10,000時間 (設計寿命により、保証期間ではありません)
再点灯時間	即時点灯
紫外線強度	4,500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上 (距離 381mm: 中心)
使用中の表面温度	50 $^{\circ}$ C未滿 (周囲温度 20 $^{\circ}$ C時)
有効照射範囲(直径)	約 $\phi$ 170mm (距離 381mm) 約 $\phi$ 170mm (距離 200mm)
使用環境温度・湿度	周囲温度: 0 $^{\circ}$ C~40 $^{\circ}$ C 相対湿度: 20~90% (但し、結露の無いこと)
寸法・重量	灯 具 $\phi$ 92 $\times$ 169 $\times$ 237mm 約 0.6kg (ケーブル含まず) 収納ボックス W300 $\times$ D185 $\times$ H204mm 約 3.4kg
予備コンセント	AC100V 専用 2口 (連続 6A)
ケーブル長さ	ランプケーブル 3m 電源ケーブル 2.5m
オプション	支持棒・ランプケーブル延長

(※1) 紫外線強度 1000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  以上の範囲

## ハレーションカットフィルタの効果



他社品



S-35LC

## ②据置型(消費電力40W) L-500LC

### 仕様

品名	L-500LC
電源	AC100V 50/60Hz
消費電力	約40W (最大)
紫外線光源	UV LED
紫外線強度	4,200 $\mu$ W/cm <sup>2</sup> 以上(フィルター面より600mmの中心照度)
紫外線波長	320~400nm (主波長365 $\pm$ 5nm メーカー仕様による)
可視光照度	10Lux(与1f $\phi$ )未満(フィルター面より0~800mmの中心照度)
使用环境温度	0~40 $^{\circ}$ C (周囲温度)
使用環境湿度	20~80%RH (但し、結露無きこと)
LED寿命	10,000時間(設計寿命により保証時間ではありません)
電源コード長さ	3.0m
投光器寸法	W220 $\times$ D220 $\times$ H160mm (H243吊金具含む)
重量	約6Kg (コード含む)

### 使用・設置時の注意

- ・お客様による修理、改造などはおやめください。
- ・防塵、防滴仕様ではありません。これらが直接かかる場所での使用はおやめください。
- ・ガスなどが雰囲気中に含まれる場所での使用はおやめください。
- ・設置時に放熱部を塞ぐような取付はおやめください。



② 据置型(消費電力40W)  
L-500LC連灯タイプ



- 鉄鋼、製鋼メーカー  
など、長尺の試験体  
の探傷に

③ 懐中電灯型(専用充電電池使用) UV-365Z  
PB-365W

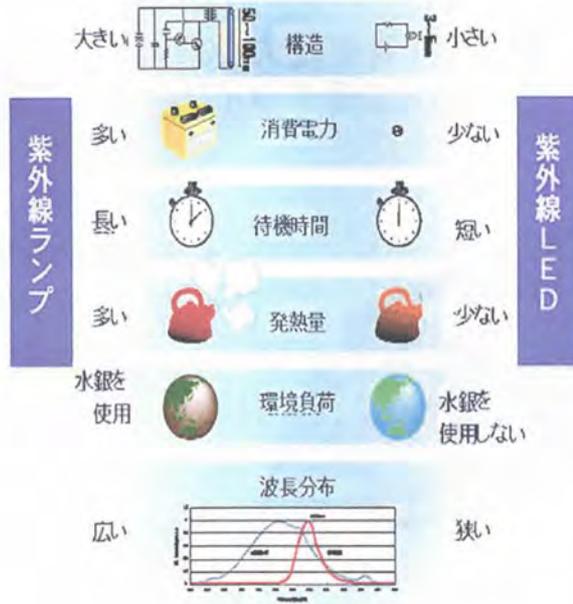


PB-365W

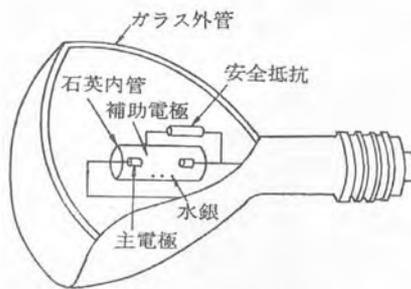


UV-365Z

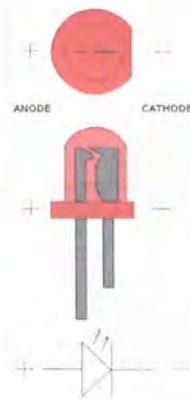
# 4. UV-LEDの特長と従来ランプとの特性比較



## 高圧水銀ランプとLED(発光ダイオード)の構造



高圧水銀ランプの構造



発光ダイオードの構造

# LEDの開発年表

## 開発年表

1907年	ラウンドがSiCに金属針を立てて電流を流すと発光することを見
1927年	ローゼフ(ソ連)が材料ごとにLED発光をまとめた論文を発表
1962年	ニック・ホロニアック氏が赤色LEDを発明
1968年	緑色が実用化される
1972年	黄色が実用化される
1985年	橙色が実用化される
1985年	赤崎勇氏と天野浩氏が青色LEDに必要なGaN単結晶化に成功
1989年	赤崎勇氏と天野浩氏がp型伝導を発見し、pn接合型青色LEDを実現
1993年	日亜化学工業が青色LEDを量産開始
1995年以降	青色LED+黄色蛍光体の白色LEDが開発される UV LED+RGB蛍光体による白色LEDが開発される
2002年	日亜化学工業、ナイトライド・セミコンダクターがUV-LEDを実用化

## 初期の懐中電灯型LEDブラックライト (2004年発売) UV ミニライト



### 当時のチラシ

#### 特長◆◆

- ・小型軽量、携帯ポケットサイズ
- ・低消費電力、電源は乾電池を使用
- ・いつでもどこでもスイッチONで、即時点灯
- ・発熱がほとんど無く、火傷の危険無し
- ・LEDは従来のランプよりも長寿命

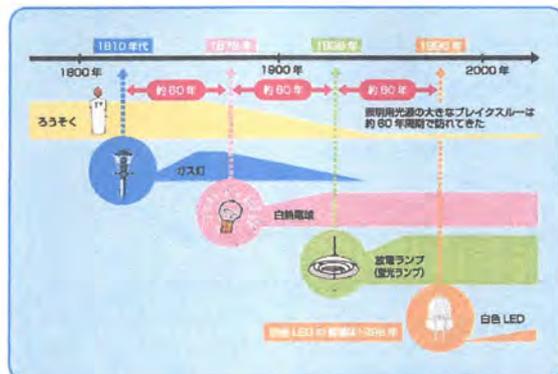
品名	UVミニライト	紫外線強度	1000μW/cm <sup>2</sup> 平均 (10cm距離にて)
電源	単三電池(3本)		連続点灯約20分可能。但し、電圧低下とともに
光源	紫外線LED 4本使用		紫外線出力は低下します。
外形寸法	1.186・26φ(グリップ18φ)mm	紫外線中心波長	370nm
重量	106g(電池含む)	使用温度範囲	-5℃~40℃

# LED照明

照明用光源の開発の歴史



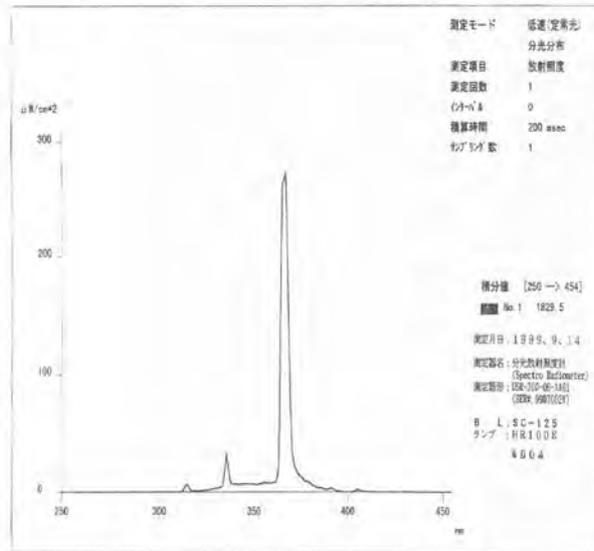
青、緑、赤のLED



## 水銀に関わる水俣条約(通称:水銀条約)

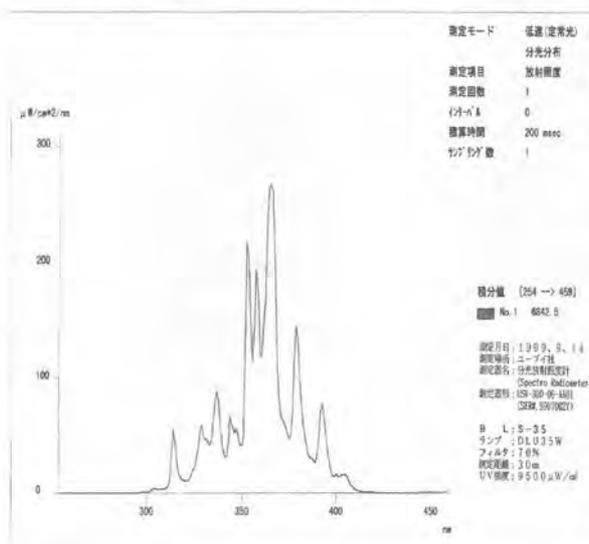
- ・ 2013年に採択
- ・ 水銀を含む製品の製造や輸出入を2020年までに原則禁止
- ・ 2015年3月10日、「水銀による環境の汚染の防止に関する法案」を閣議決定
- ・ 特殊用途の水銀ランプは条約の適用除外
- ・ ただし、一般照明用ランプ製造ライン閉鎖のため、紫外線照射用の高圧水銀ランプも既に製造が終了

## 高圧水銀ランプの波長スペクトルの例



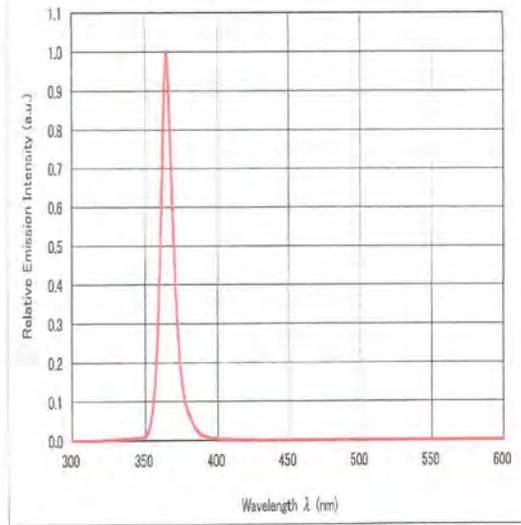
- スペクトルでは  
315~400nm  
の範囲に輝線  
は  
365nmの他に  
はわずか

## メタルハライドランプの波長スペクトルの例



- スペクトルでは  
315~400nm  
の範囲に、  
数本の輝線があ  
り、エネルギー  
が大

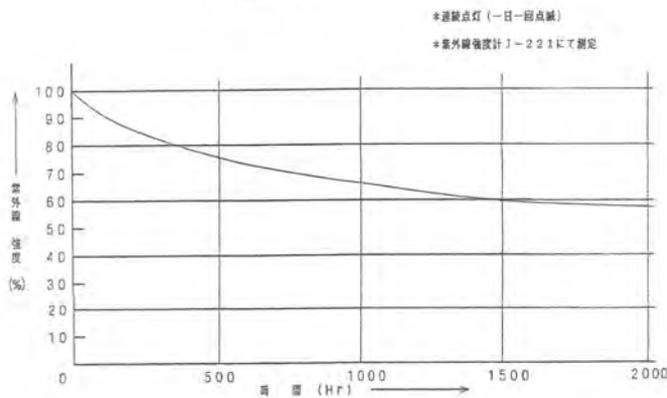
## UV-LEDの波長スペクトルの例



- スペクトルは  
ほぼ単一波長、  
ほぼ365nm  
のみ  
(他に375nm  
品などもあり)

## 高圧水銀ランプの寿命の例

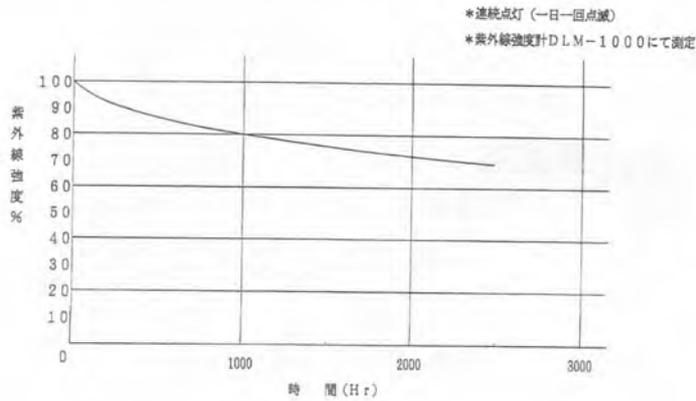
100Wランプの働程曲線  
(S-100, SC-125)



強度は、  
初期の  
70%で  
約1000  
時間程度

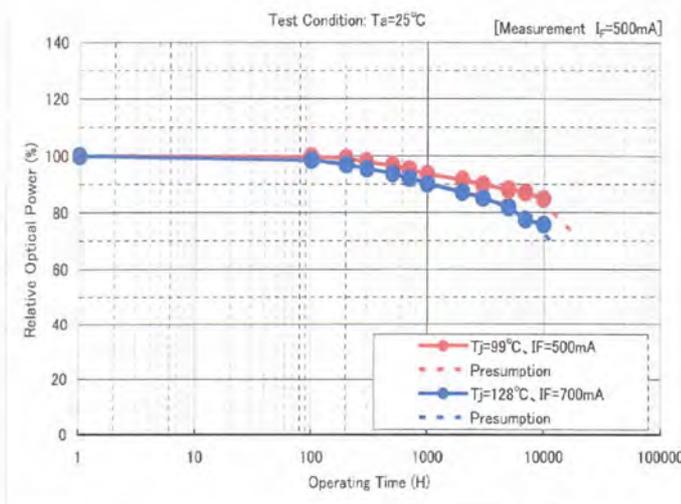
## メタルハライドランプの寿命の例

S-35型 35Wランプの働程曲線



強度は、  
初期の  
70%で  
約2000  
時間程度

## UV-LEDの寿命の例



強度は、  
放熱が悪い条件下で、  
約10000  
時間以上か

## UV-LEDブラックライトの特徴

### ☆長所

- 長寿命(10000時間超)
- 低消費電力
- 低発熱で安全
- 水銀 不使用
- 投光器が軽量  
(・調光可能な装置あり)

### ★短所

- LEDユニットは高価
- 安定化電源は、従来の安定器よりもノイズ・粉じん・水分などに弱い
- アレー(複数素子)タイプのユニットでは、  
一部素子の消灯注意

## 懐中電灯型(専用充電電池使用)の電源回路

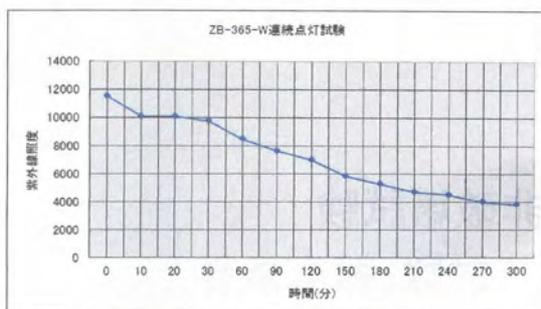
### ★PB-365W型

- 高強度志向型  
使用可能時間長い
- 連続点灯時、  
強度は漸減して  
最終で消灯

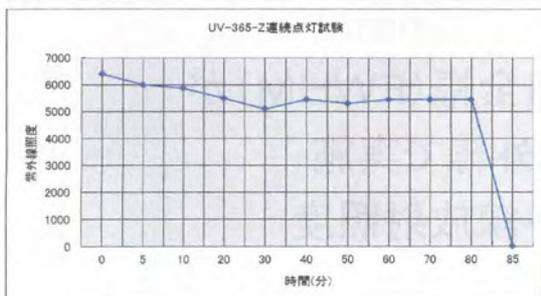
### ★UV-365Z型

- 定電流志向型
- 連続点灯時、  
強度の低下は少ない  
が突然消灯

## ZB-365WとUV-365Zの点灯特性比較



ZB-365W  
高強度志向



UV-365Z  
定電流志向

## 懐中電灯型ブラックライトの機能



## 5. ブラックライト又は照射される紫外線に関する規格(1)

- ・ISO 3059:2012 =
- ・JIS Z 2323:2017(仮称) 非破壊試験  
浸透探傷試験及び磁粉探傷試験: 観察条件  
試験は公称最大強度が $365\text{nm}\pm 5\text{nm}$ 、  
かつLED光源では半値全幅(FWHM)が  
30nm以下のA領域紫外線で実施  
紫外線強度 → 紫外線放射照度

## ブラックライト又は照射される紫外線に関する規格(2)

- ISO 3452:2015 =
- ・JIS Z 2343-1:2017(仮称) 非破壊試験  
—浸透探傷試験—: 第1部 一般通則
- ISO 9943:2015 =
- ・JIS Z 2320-1:2017(仮称) 非破壊試験  
—磁粉探傷試験—: 第1部 一般通則

紫外線強度 → 紫外線放射照度  
測定は「紫外線強度計」を使用

## ブラックライト又は照射される紫外線に関する規格(3)

- ・ASTM E3022  
UV-LEDによるブラックライトの特性を規定
- ・ASTM E2799  
高圧水銀灯、メタルハライドランプ、  
ファイバー・ライトガイドなどによるブラック  
ライトの特性を規定

## 6. まとめと 今後の展望

- ・UV-LEDの登場はブラックライトを劇的に進化させた。
- ・従来の高圧水銀灯及びメタルハライドランプの弱点であった  
寿命、発熱、重量、即時点灯、調光などの課題は大幅にかつ安全に改善され、さらに省消費電力による省エネルギー、水銀を使用しないことで環境保護など新たな長所も生まれた。
- ・UV-LEDは現在、1素子からアレイタイプが登場しており、今後、さらに高度な素子が開発され、より高度な性能をもったブラックライトの開発が可能になるものと考えられる。

上海某某有限公司

某某某某某某某某

某某某某某某某某  
某某某某某某某某  
某某某某某某某某

## 特別講演

コンクリートに関する非破壊・微破壊試験方法の現状

講師：日本大学 生産工学部  
教授 湯浅昇氏



# コンクリートに関する非破壊・微破壊試験方法の現状



平成29年2月21日

日 本 大 学  
湯 浅 昇

1

## 鉄筋コンクリート

- Reinforced Concrete Structure  
「補強されたコンクリート構造」
- ポイント
- コンクリートの圧縮強度は大きい
- コンクリートの引張強度・曲げ強度は小さい
- 鉄筋がコンクリートの弱点を補う

3

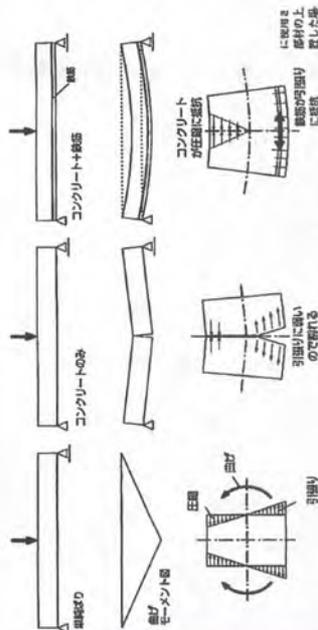
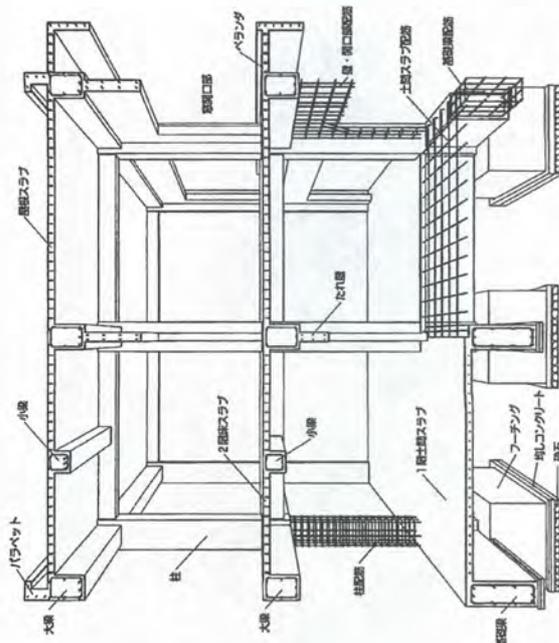


図3-2 鉄筋コンクリート梁の原理

## ポイント

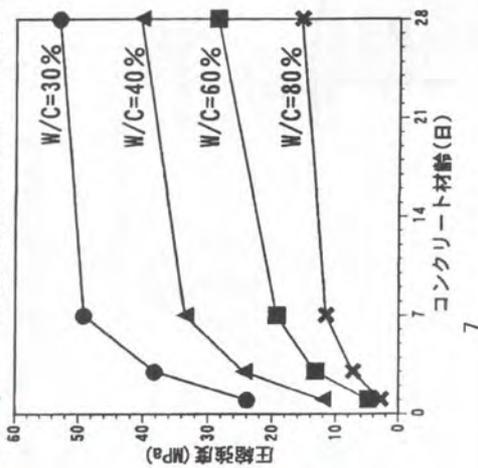
- 構造上の引張荷重は鉄筋で受ける  
→ 曲げ力はコンクリート圧縮耐力と鉄筋の引張耐力を複合して

4



# コンクリートはどのようにして強度が発現するのか、

材齢と圧縮強度の関係(20°C、封かん)



**組織の緻密化が強度を増加させる**

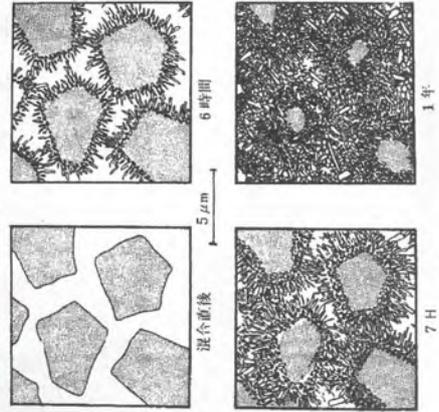
# コンクリート：セメント、水、砂、砂利を混ぜて製造硬化はセメントと水の水和反応（化学）による



N SEI 15.0kV x5,000 1μm WD15mm 5

写真 普通ポルトランドセメントペースト(W/C:50%、材齢1日)の水和(長さ1~4μm程度の柱状の結晶はエトリングイト、基盤をなす微細な繊維状の物質はC-S-H)

# コンクリートはどのようにして強度が発現するのか、凝結、硬化の模式図



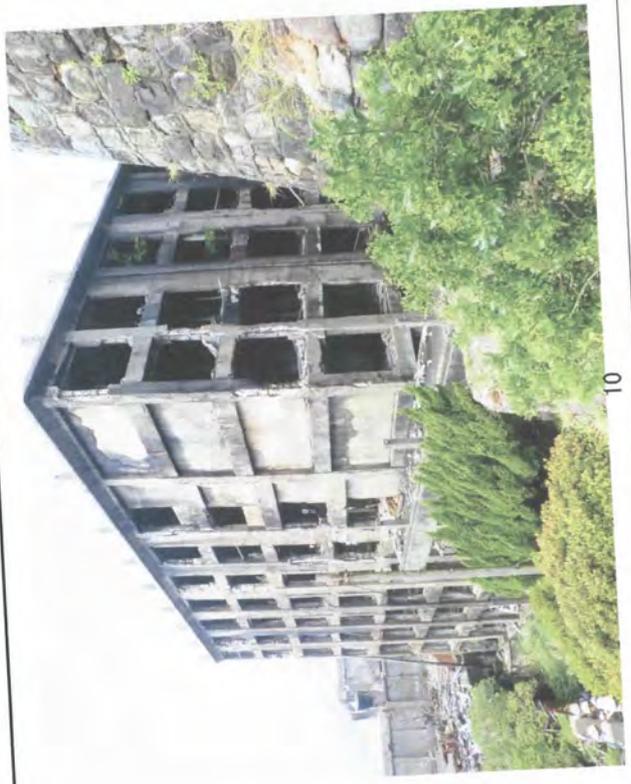
**水和の進行**

軍艦島





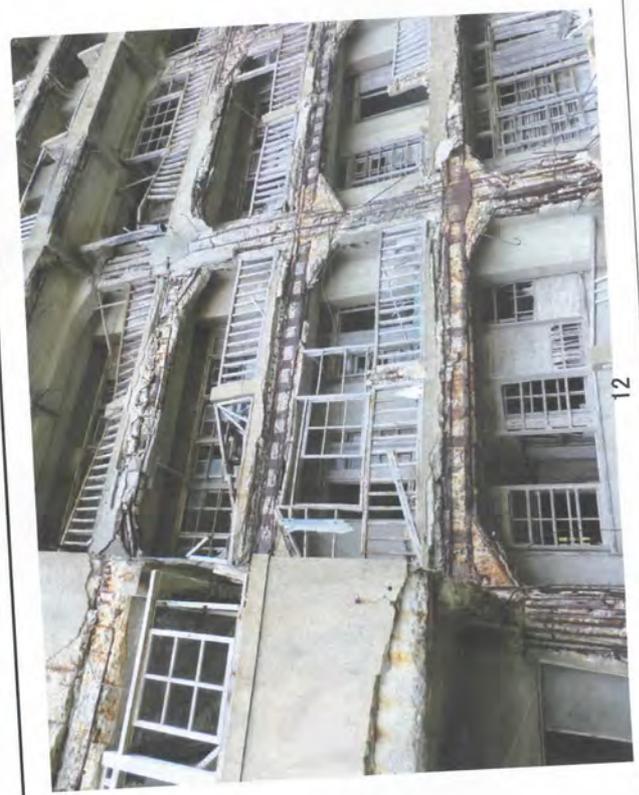
日本最古のRC造30号棟(大正15年)



10



11



12

沖縄のアパートの廊下崩壊



15



13

鉄筋が腐食し、その上（かぶり）コンクリートが剥落する現象

- コンクリートが空気中の二酸化炭素により、アルカリ性から中性に変化することに起因  
= 中性化による鉄筋腐食

- コンクリート中の塩分（内在塩分と外来塩分の別有）に起因  
= 塩害



14

16



式(1)



式(2)

○ こうしてコンクリートはアルカリ性を失う

19



20



20年前に解体した本学の中性化による劣化建物

17

中性化による鉄筋腐食とコンクリートの剥落

- コンクリートは、セメントの水和生成物である水酸化カルシウム ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) によってpHが12~13の強アルカリ性を示し、コンクリート中の鉄筋の表面には、厚さ2~6nm厚の水和酸化物 ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) の酸化皮膜(一般に不動態皮膜と呼ばれる)が形成される。
- このような状態では、鉄筋はこの被膜により保護されるため腐食はみられない。
- しかし、空気中の二酸化炭素(大気中の濃度はおよそ400ppm、室内の濃度は1,000ppmを超えることもある)が水との反応によって、式のように生成した弱酸である炭酸水が、コンクリート表面より徐々に水酸化カルシウムを侵して中性化し、中性物質である炭酸カルシウムを生成する。

18

- 鉄筋が腐食すると、発錆によりおよそ**2.5倍の体積膨張**が生じる。

- ここで発生する膨張圧は、写真に示すように、かぶりコンクリートを押しだす。
- その結果、コンクリートには鉄筋まで貫通するひび割れが発生する。
- 更にひび割れを通過して、酸素と水は直接鉄筋に供給され、ますます腐食は進行し、いつしか剥落することになる。

23



24

## 中性化予測式

$$C = A\sqrt{t}$$

C: 中性化深さ

t: 経過時間

A: 中性化速度係数 (コンクリートの材料や水セメント比 仕上げ材等の要因によって変化する係数)

水セメント比が大きいと**A大**

含水状態小さいと**A大**

仕上げ材がない及びあってもその密閉度が低いと**A大**

21

- この中性化が鉄筋の位置に到達すると、鉄筋表面の水酸化物の皮膜が破壊され、**酸素と水**の供給があれば、鉄筋は腐食する。



22

(中性化による)  
鉄筋腐食の可能性

- 中性化の進行？
- 塗膜による二酸化炭素の遮断？
- かぶり厚？
- 水の存在？
- 塗膜による水の遮断？
- 酸素の存在？
- 塗膜による酸素の遮断？

27

(建設時に気をつける)  
中性化による鉄筋の腐食を防ぐための基本

- ① 二酸化炭素が透過しにくいコンクリートをつくる。  
=水セメント比の小さいコンクリートを使う
- ② 鉄筋のかぶりを十分とる。
- ③ コンクリート表面に気密性の塗装あるいはモルタルで覆う。

28



腐食した鉄筋の位置で浮いたコンクリート片

中性化の進行、雨掛かりと、鉄筋の腐食の進行

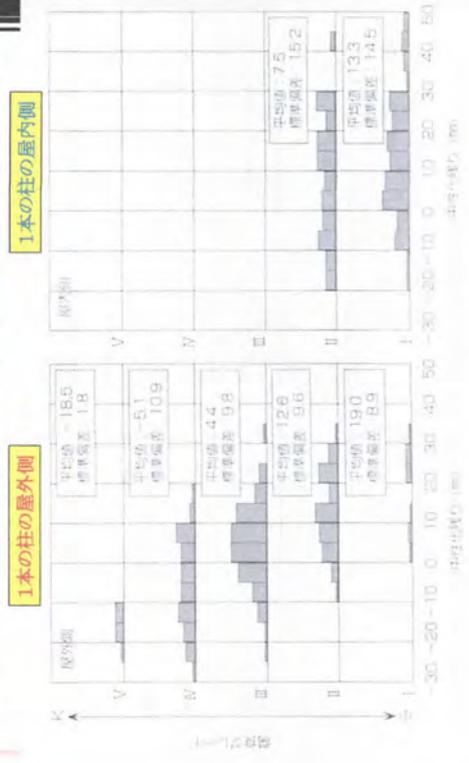


図2-43 中性化深りと鉄筋腐食率の関係

26

極めて安価であるが  
リシンは全く効果が無いと言われている



31

**塗膜の寿命** ≪ **コンクリートの寿命**  
塗膜 = 高分子材料は  
光に弱い (ただし塗膜の種類に  
より程度は異なる)

塗膜は適度の  
塗り直しが必要  
種類が違っても  
基本的に重ね塗りOK



紫外線によって、塗料の中の顔料(着色料)を結合している樹脂層が劣化すると、顔料(着色料)の離脱が起こり、チョーキングの粉のようになります。これがチョーキング<sup>32</sup>。

表 6.1 一般道地盤に用いる設計耐用年数 (mm)

耐用年数	設計耐用年数		100年
	30年	65年	
土または木に 積ししない	床スラブ	仕上げあり	30
	屋根スラブ	仕上げなし	30
土または木に 積しする	非耐水壁	仕上げあり	40
	壁外	仕上げなし	40
土または木に 積しする	柱	仕上げあり	50
	梁	仕上げあり	40
土または木に 積しする	耐水壁	仕上げあり	50
	壁外	仕上げなし	50
土または木に 積しする	土または木に接する柱・梁・床スラブ・耐水壁	4.0	50
	基礎・擁壁	6.0	70

〔注〕「仕上げあり」は、コンクリートに塗膜を積層する耐水仕上げを施すことを示す。

〔注2〕設計耐用年数30年のかぶり厚は最小かぶり厚を示す

29

塗膜による  
鉄筋コンクリート構造物の保護  
○ただ塗れればいいわけではない!!!  
塗膜の品質により効果は異なる

分類	中性化率
複層塗材	0.32
薄付け仕上塗材	1.02
厚付け仕上塗材	0.35
塗膜防水層	0.10
塗料	0.81
下地調整材	0.87

外装薄付塗材(樹脂リシン)  
アクリルゴム系

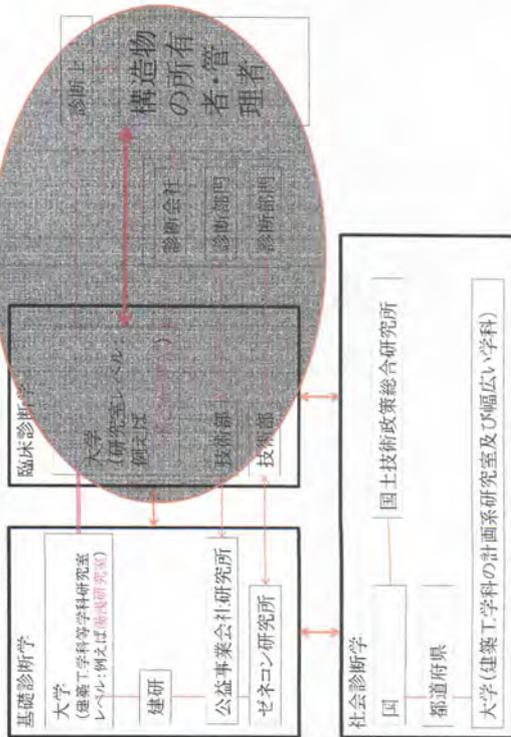
30

(使用中に気をつける)  
鉄筋の腐食を防ぐための基本 (一般環境)

- ①検査体制の確立
  - 日常的: 目視検査(不具合頻発なら抜本的対策に)
  - 定期的: 中性化深さの確認
  - 早い内に確認: 実際のかぶり深さ
  - 実際の圧縮強度(≒組織の緻密度)やばいと思ったら: 腐食度確認
- ②定期的な補修
  - 悪いところは早い内にコンクリートも塗膜も補修

既存建物の維持保全の前にまずやるべきこと

- 耐震診断→
  - OUTの場合、耐震補強
  - もしくは建て替え
- アスベスト調査→有る場合、除去  
(封じ込めは薦めない)



これからの維持保全にむけて

- スクラップ&ビルトの時代・・・今でも。。。
  - 壊し新たな建物をつくるための口実
  - 中性化深さ=かぶり厚**をもって建物の**寿命**
- それは建物の寿命なのか・・・**違う!**
  - 癌が発見されただけ。**
  - 現状を理解し手当**をすれば**延命**ができる

## 小径コア法の利点

- 微破壊性  
傷が小さい。修復簡単。
- 簡易性  
コア採取時：設置が簡単。早い。
- 安価  
微破壊性と簡易性からもたらされる。



写真1 コアリング機とコアマシンによる  
φ50mmコア採取状況

39

## 診断のための要素技術

37

## コアの直径と圧縮強度との関係

日本大学

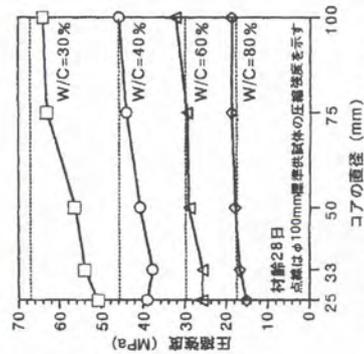


図-7 コアの直径と圧縮強度との関係  
及び標準供試体の圧縮強度の関係

40

37

## 小径コアによる圧縮強度試験

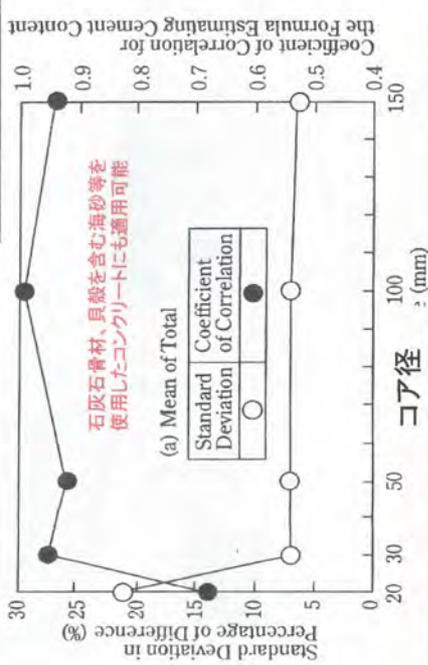
日大笠井湯淺、名大谷川・ソフトコアリング



38

### 単位セメント量推定

日大笠井・中田  
→2002年NDIS化



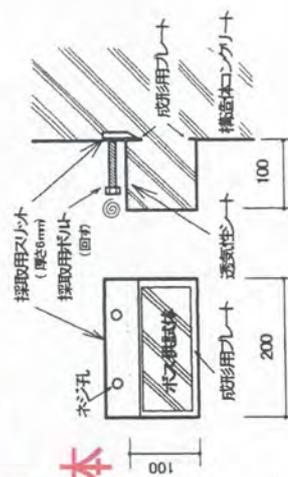
グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートの単位セメント量試験方法 (NDIS 3422-2002)

構造体コンクリート



ボス型枠 (ボス供試体)

### ボス供試体



### 筑波大白山・戸田

→2006年NDIS3424  
「ボス供試体の作製方法及び  
圧縮強度試験方法」制定

### 名大谷川・ソフトコアリング

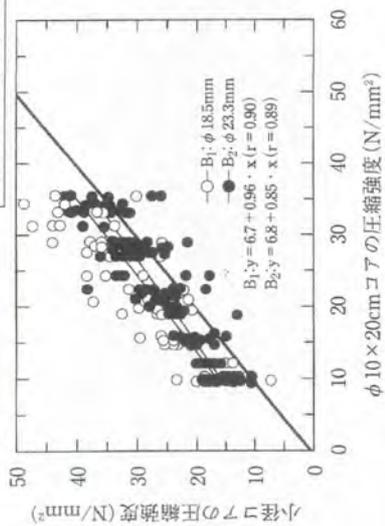
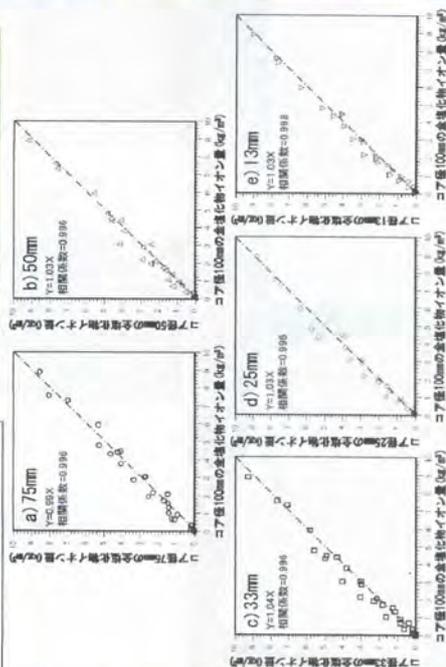


図-2.2.3 小径コアとφ10×20cmコアの圧縮強度の関係 (変位制御) [2.3]

### 塩化物イオン量

### 日本大学



100mmコアと他の径のコアの塩化物イオン量の関係

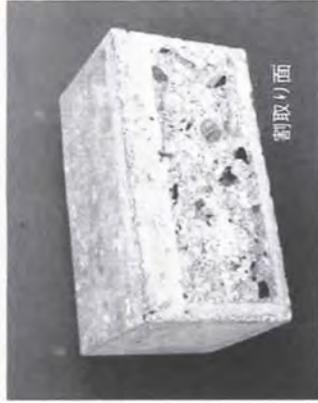
細孔構造からコンクリートの品質を考える

北大鎌田・吉野→日大湯浅



47

47



45

### 水銀圧入法による細孔構造の測定



水銀ポロシメーター  
48

### 非破壊試験

構造体コンクリートの非破壊試験の多くは、  
求めようとす**る強度等の品質**を  
その**品質**に関連深い**コンクリートの他の物性**を  
測定することにより**類推**することによる。

46

46

コンクリートでは、骨材部分にはほとんど細孔がないので、

試料中の骨材率(1-溶解率)を求め、骨材がないときの細孔量(有効細孔量): 単位セメントペースト当たりの細孔量) という概念で細孔構造を考える

$$\text{有効細孔量 } V_{ep} = \frac{\text{試料の細孔量 } V_{mp}}{\text{溶解率 } WR_s}$$

51

51

北海道大学 鎌田・吉野

### 水銀圧入により測定した細孔構造からの圧縮強度の推定

$$\sigma = 144.2 \times \exp(-0.0267 \times ETPV - 0.485 \times \log(Me) - 0.96 \times Re + 3.56 \times WR_h)$$

$\sigma$ : 推定圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

ETPV: 総有効細孔量 ( $\times 10^{-2} \text{cc/g}$ )

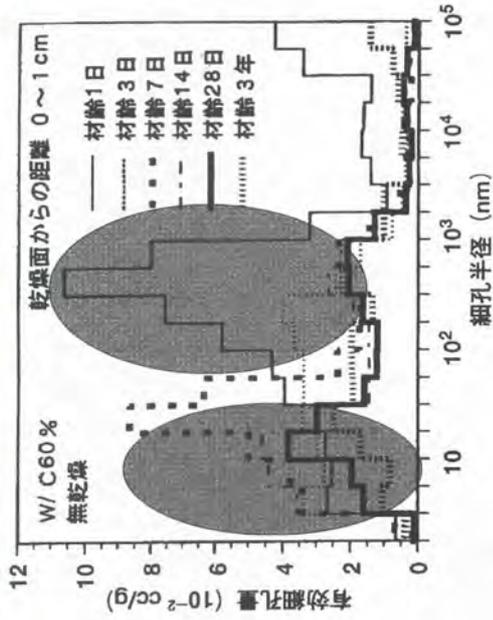
Me: 中央値

Re: 戻り比

WRh: 結合水率

52

### 水和に伴うコンクリートの細孔径分布の変化



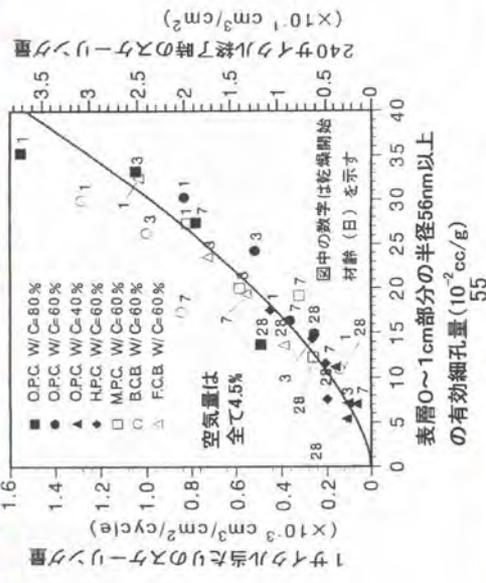
49

### コンクリートの諸物性値に及ぼすポロシチーの影響

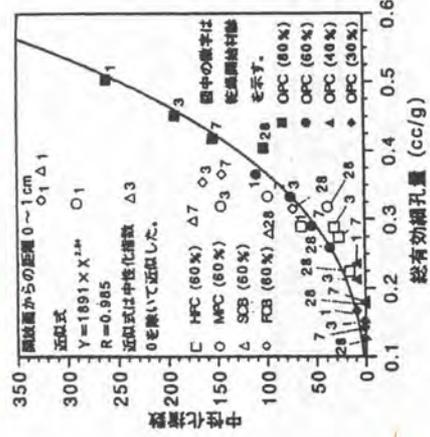
物性	ポロシチー	
	粗 ←	密 →
強度	小 ←	大 →
硬度	小 ←	大 →
切削抵抗	小 ←	大 →
音速	遅 ←	速 →
衝撃弾性波速度	遅 ←	速 →
共鳴振動数	小 ←	大 →
透気性	大 ←	小 →
透水性	大 ←	小 →
毛細管圧力	小 ←	大 →

50

半径56nm以上の細孔量とスケーリング

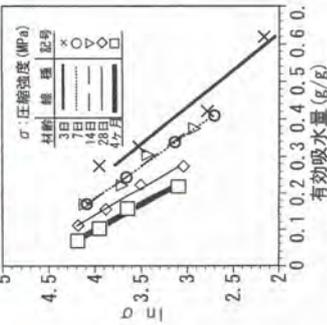


総有効細孔量と中性化指数の関係



有効吸水量-圧縮強度

有効吸水量から圧縮強度の推定

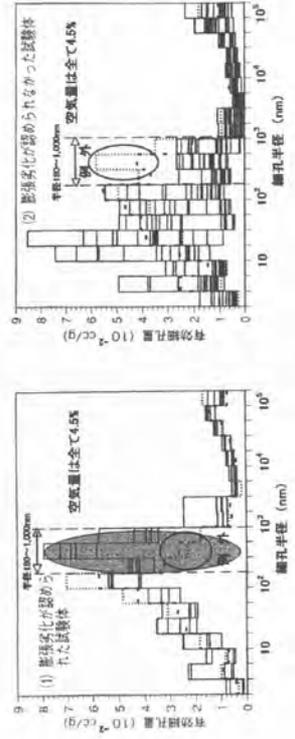


図一3 有効吸水量と圧縮強度の自然対数

材齢	近似式	相関係数
材齢3日	$\sigma = 176 \times \exp(-5.04 \times V)$	-0.940
材齢7日	$\sigma = 158 \times \exp(-5.74 \times V)$	-1.000
材齢14日	$\sigma = 148 \times \exp(-5.47 \times V)$	-0.978
材齢26日	$\sigma = 140 \times \exp(-6.76 \times V)$	-0.989
材齢120日	$\sigma = 103 \times \exp(-7.15 \times V)$	-0.980

凍害

膨張劣化の有無と細孔径分布



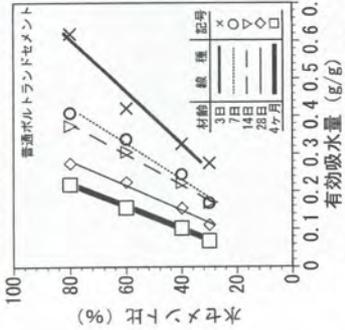
引っかき試験



59

日本大学

細孔構造による水セメント比推定



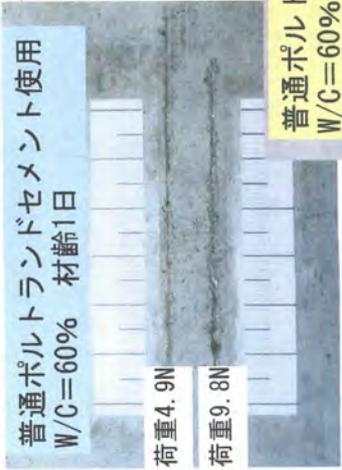
材齢	近似式	相関係数
材齢3日	$f(x)=143.5x-6.4$	0.965
材齢7日	$f(x)=209.0x-8.3$	0.979
材齢14日	$f(x)=244.6x-12.8$	0.993
材齢26日	$f(x)=303.7x-5.4$	0.988
材齢120日	$f(x)=337.1x+6.5$	0.999

有効吸水量と水セメント比の関係

57

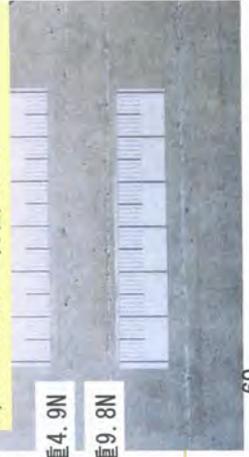
普通ポルトランドセメント使用  
W/C=60% 材齢1日

荷重4.9N  
荷重9.8N



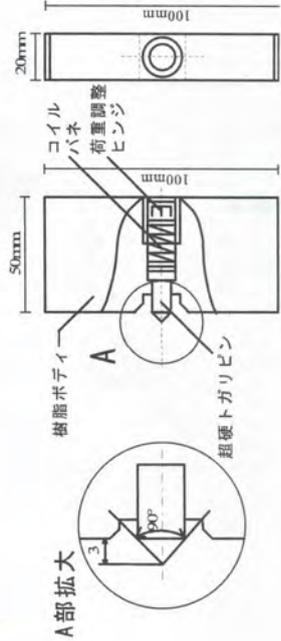
普通ポルトランドセメント使用  
W/C=60% 材齢42日

荷重4.9N  
荷重9.8N



60

日本建築士学会試験器(床礎さ尺度)  
→日大(圧縮強度推定の仕組みに)  
→阪大鈴木・構造総研(コア側面適用)



引っかき試験器

58

Φ33mm、Φ50mmのコアを用いた

①圧縮強度試験方法 ②単位セメント量試験方法

③単位水量試験方法

コンクリート塊(コアもしくはハツリなどによる塊)の  
細孔構造に基づく

①圧縮強度推定 ②見掛けの水セメント比評価

③中性化抵抗性評価 ④塩化物イオン抵抗性評価

⑤耐凍結融解性評価

Φ10mmのドリル削孔を用いた

①中性化試験方法 ②塩化物イオン量試験方法

③含水率測定 ④透気性試験方法

⑤吸水性試験方法 ⑥圧縮強度推定

63

### 中性化深さ

日本大学→1999年NDIS化



ドリル削孔粉による中性化測定方法

■ 日本非破壊検査協会規格: NDIS 3419-1999 64

64

### 日本大学

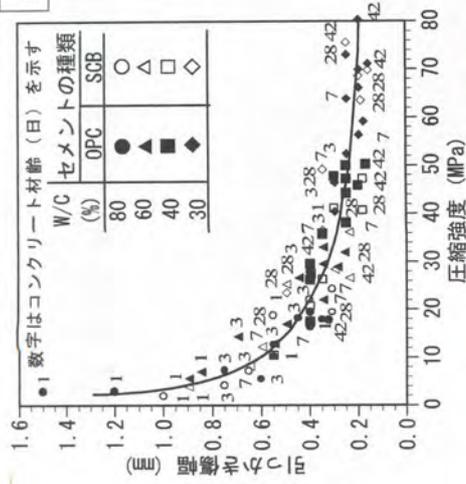


図 セメントの種類による圧縮強度

と引っかけ傷幅の関係の違い

61

阪大鈴木・構造総研



写真 コア側面に適用する引っかけ試験装置(構造総研)

62

## 塩化物イオン量

日本大学

### ドリル法の利点

- 微破壊性  
傷が小さい。修復簡単。
- 簡易性  
採取時：設置が簡単。早い。  
粉砕作業時：粉砕するべき量が少ない。早い。
- 安価  
微破壊性と簡易性からもたらされる。



写真4 ドリルによるコンクリート粉末の採取

- **評価の迅速性**  
**調査現場で評価することも可能。**

67



写真-3 削孔深さの測定状況

### 作業者1人の場合の装置



写真-4 ろ紙回転装置付きドリルを用いた技術者1名での試験

65

## ドリルカバパーは大事

・・・現場では風があり吹き飛ばす

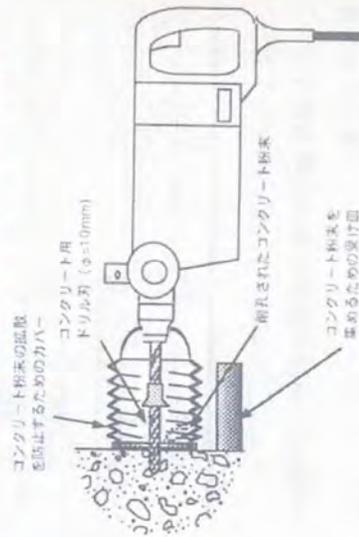
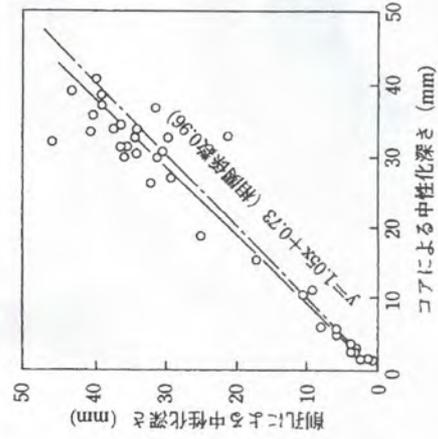


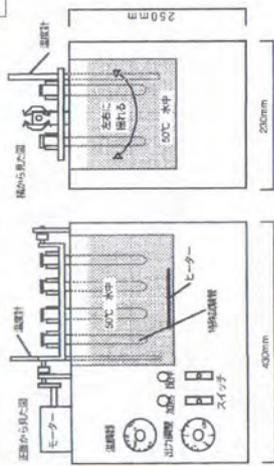
図-1 ドリルによるコンクリート粉末の採取

68



中性化深さのコアによる結果と削孔による結果の関係

66

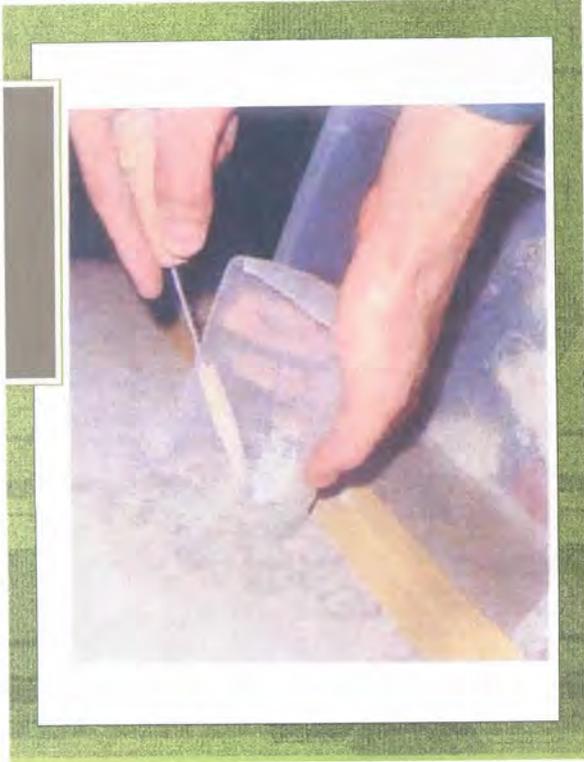
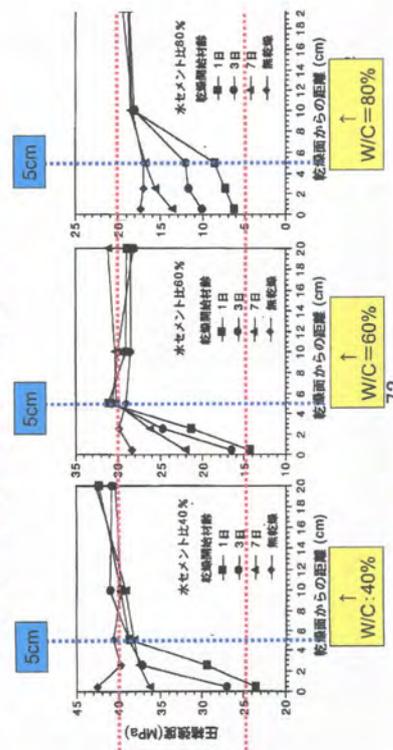


塩化物イオンの現場での抽出

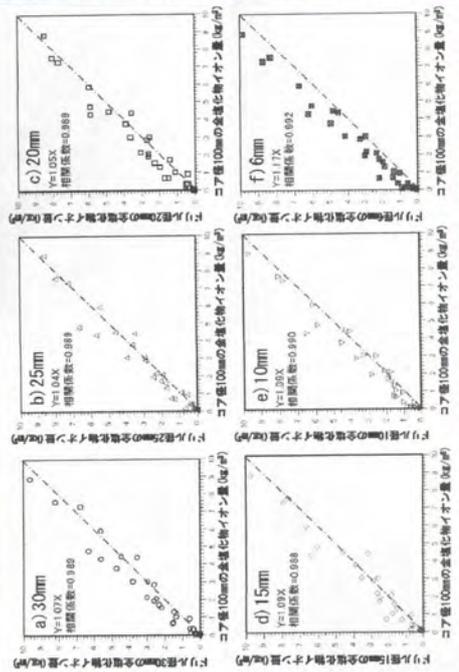


コンクリート表面からの試験で気を  
つけないければいけないこと

→コンクリートは均質ではない

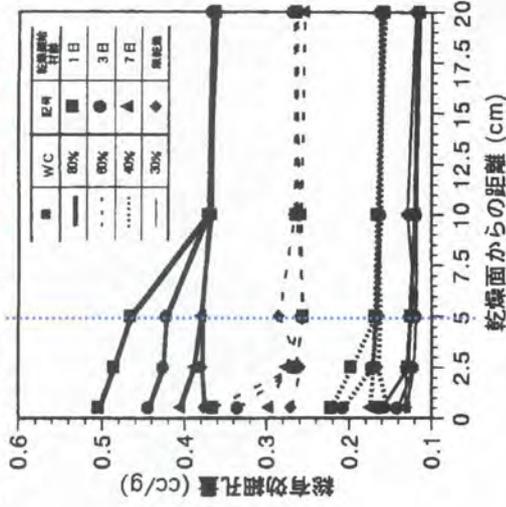


塩化物イオン量

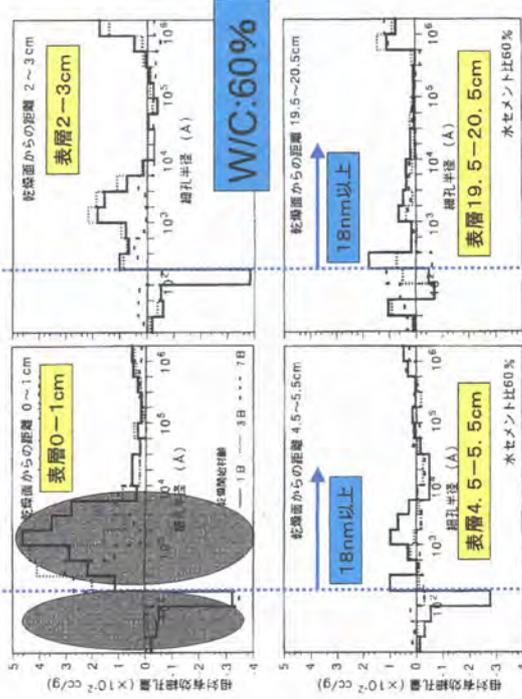


100mmコアとドリル穿孔粉の塩化物イオン量の関係

総有効細孔量分布 (材齢28日)



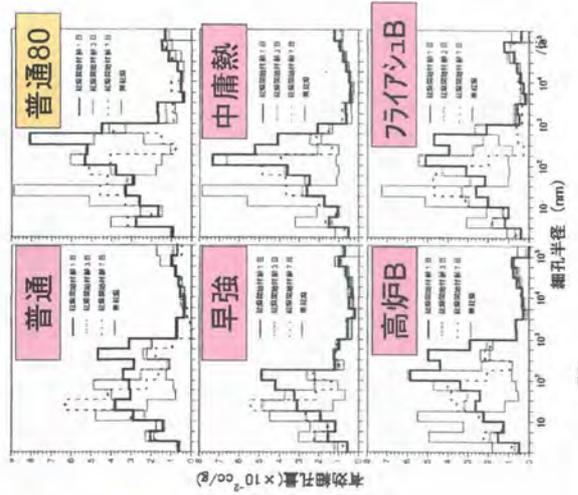
73



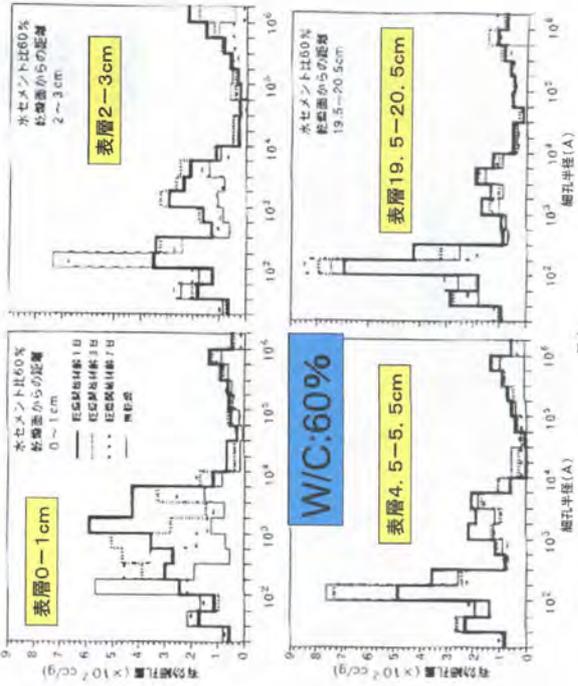
75

乾燥により増減する細孔径分布 (材齢28日)

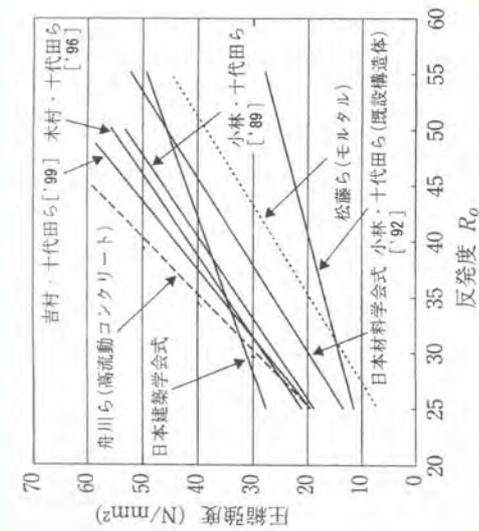
75



76



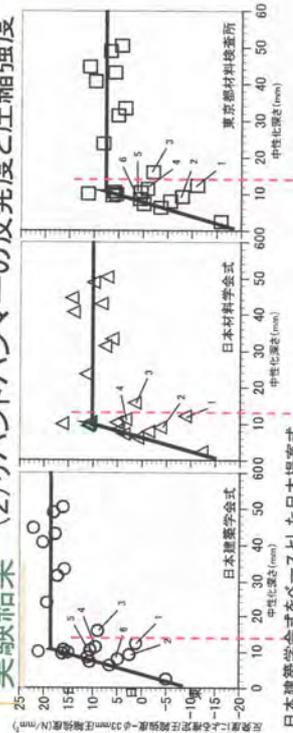
74



### 反発度と圧縮強度との相関、関係式

79

### 実験結果 (2)リバンドハンママーの反発度と圧縮強度



日本建築学会式をベースとした日大提案式  
 $F_c = 0.72R - 2.65DC + 20.9$  ( $DC \leq 11.3\text{mm}$ )  
 $F_c = 0.72R - 18.3$  ( $DC > 11.3\text{mm}$ )

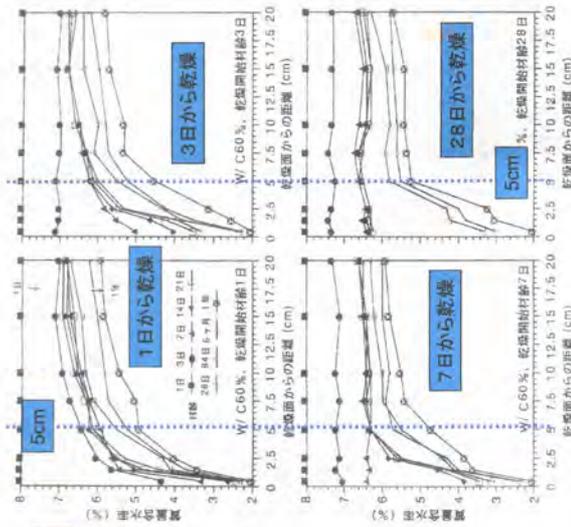
日本材料科学会式をベースとした日大提案式  
 $F_c = 1.27R - 2.69DC - 0.2$  ( $DC \leq 10.5\text{mm}$ )  
 $F_c = 1.27R - 36.3$  ( $DC > 10.5\text{mm}$ )

### 中心部の強度推定式

東京都材料検査所式をベースとした日大提案式  
 $F_c = 0.98R - 2.57DC + 10.32$  ( $DC \leq 10.9\text{mm}$ )  
 $F_c = 0.98R - 17.4$  ( $DC > 10.9\text{mm}$ )

80

### 水セメント比60%



77

木村、名大谷川、芝浦工大十代田、武蔵工大野崎、日大

### リバンドハンママーによる反発度の測定

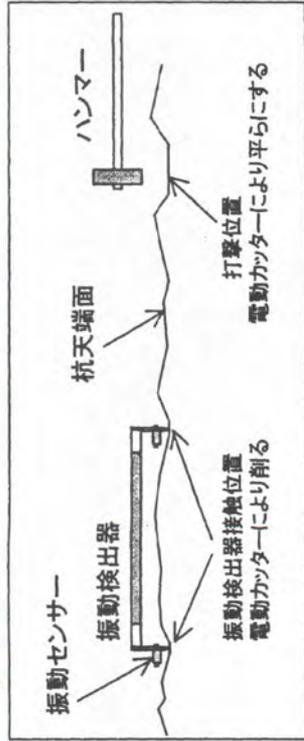


- 1: インパクトプランジヤー (打撃棒)
- 2: ケース
- 3: 試験対象コンクリート面
- 4: 指針
- 5: 目盛
- 6: プラッシュボタン
- 7: ハンマーガイドバー
- 8: 歯止め
- 9: 車輪 (ハンマー)
- 10: インパクトスプリング
- 11: 圧縮スプリング

平成15年、コンクリートの反発度の測定に関してのみ、JIS A 1155「コンクリートの反発測定方法」としてJIS制定された。  
 反発度の測定結果から強度を推定する方法については、この規格の対象外である。

78

# 弾性波速度による強度推定方法



# 新型リバウンドハンマの登場



# 既存構造物に適用可能と思われる各種強度試験方法と破壊程度、普及度、精度(湯浅)

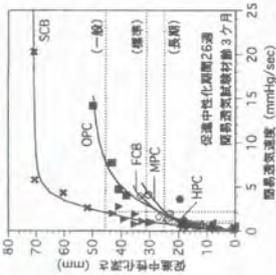
試験方法	φ75~100mm程度のコア	微破壊試験		非破壊試験	普及度(認知度)	精度
		ハズリ	ドリル			
コアによる直接載法	○	○	—	×	◎	◎(JIS特) ○(小径)
リバウンドハンマー法	○	×	×	△	◎	△
引っかき割法	○	×	×	△	△	△(表面) ○(コア)
コア切削効率法	○	○	×	×	×	○
ドリル削孔速度法	○	○	×	×	×	○
後付ピン引き抜き法	—	—	×	×	×	△
水銀注入法	○	○	×	×	×	○
有効吸水量法	○	○	×	×	×	△
超音波法	○	○	×	○	○	△
衝撃弾性波法	○	△	×	○	○	△

○可、△可能性はあるがあまり適さない、×不可  
◎最良、○大  
△小、×極小



JASS5における計画供用期間の評価

日本大学



凡例	モルタル	コンクリート	W/C (%)
●	80	OPC	40
▲	60	OPC	30
△	40	OPC	20
×	80	SCB	40
▽	60	SCB	30
◇	40	SCB	20
○	80	HPC	40
□	60	HPC	30
◇	40	HPC	20

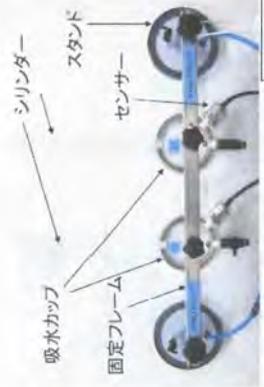
図-4 簡易透気速度と促進中性化深さ

JASS 5 における耐久性能区分 対応する促進期間 28 週の中性化深さ (mm)	① 一般			② 標準			③ 長期		
	45.6 以下	31.0 以下	25.0 以下	45.6 以下	31.0 以下	25.0 以下	45.6 以下	31.0 以下	25.0 以下
簡易透気速度 (mmHg/sec)	OPC	7.8 以下	3.2 以下	2.3 以下	OPC	7.8 以下	3.2 以下	2.3 以下	
	HPC	—	—	—	HPC	—	—	—	
	MPC	—	—	—	MPC	—	—	—	
	SCB	2.1 以下	1.1 以下	0.9 以下	SCB	2.1 以下	1.1 以下	0.9 以下	
	FCB	—	—	—	FCB	—	—	—	

野中英・湯浅昇：簡易透気試験による構造体コンクリートの中性化抵抗性評価、日本建築学会構造系論文集、第80巻、第711号、pp.727-734、2015.5

87

吸水性



表面吸水試験 (SWAT)

88

横国大

図-1 簡易吸水試験装置

日大

88

竣工・検査時に今後の劣化を予測する

→ 竣工・検査時に塗膜による保護の必要性の検討

■ 透気性から中性化

■ 吸水性から塩分浸透性等

85

透気性



トレント

Figg → 日本大学

\* U字型真空計とストップウォッチを用いてもよい

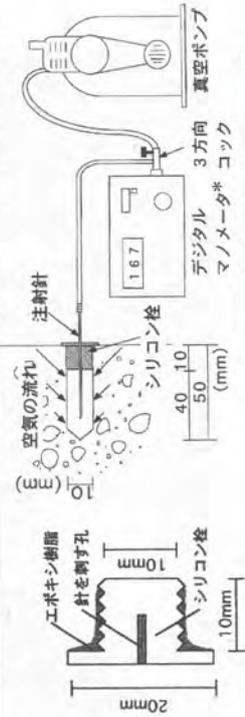


図-1 シリコン栓

86

簡易透気試験

## コンクリートの諸物性値に及ぼす含水率の影響

物性	含水率
強度	小 ← → 大
硬度	大 ← → 小
音速	大 ← → 小
誘電率	遅 ← → 速
電気抵抗	小 ← → 大
自然電極電位	大 ← → 小
熱伝導率	貴 ← → 卑
	小 ← → 大

89

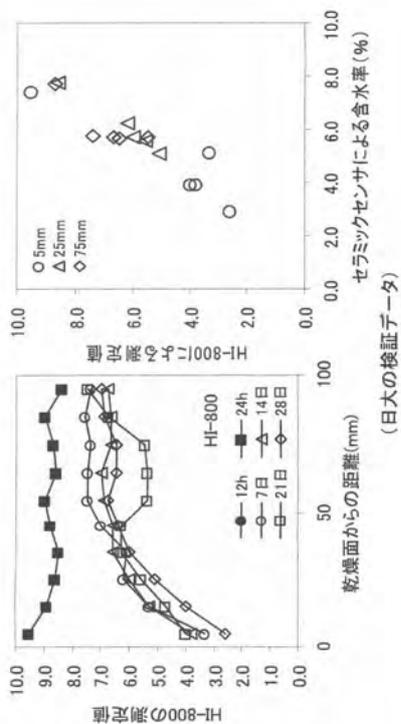
北大鎌田 → kett

## 挿入式水分計(HI-800)の仕様

測定方法	電気抵抗式
測定対象	コンクリート、モルタル
測定範囲	コンクリート 0~10% モルタル 0~15%
測定深度	表面から最大50mm (オプションの使用で150mmまで可)
表示方法	デジタル(LCD、表示最小桁0.1% カウント数)
電源	電池1.5V(単3アルカリ) × 4
寸法	75(W) × 145(D) × 31(H)mm
質量	0.5kg



90



91

進駐軍がもたらした技術→kett販売→JASS8防水工事採用→日大測定値の意味を研究

## 押し当て式水分計(HI-520)

測定方法	高周波容量式(20MHz)
測定対象	人工軽量骨材コンクリート、セッコウボード、モルタル、コンクリート、ALCモルタル
測定範囲	人工軽量骨材コンクリート 0~23% 石膏ボード 0~50% モルタル 0~15% コンクリート 0~12% ALCモルタル 0~100%
補正機能	厚さ 10~40mm
測定精度	湿度 自動(0~40℃)、手動(0~70℃) コンクリート・モルタル±0.5%
表示方法	デジタル(LCD、表示最小桁0.1%)
電源	電池9V 6LR61(006Pアルカリ) × 1
寸法	56(W) × 130(D) × 110(H)mm
質量	0.3kg



深さ10mm までの影響を80%程度、  
20mm までの影響を90%強、

そして、影響範囲は概ね40mmである。

92

- 容易に、安価で、構造物をあまり傷つけることなく、品質(主に強度)を正確に評価する可能な試験方法の出現を社会は期待している。

今後もこれらを全て満たす試験方法の出現は難しい状況にあるが、唯一の万能な試験方法でなくとも、試験方法を理解し、目的に応じて選択・採用すれば、強度を主として構造物のコンクリートの品質を理解することは可能な時代でもある。

- 更なる試験方法の開発・発展の重要性もさることながら、使用者の既存の試験方法に対する理解が極めて重要であると考える。

93

### 非破壊試験の理解のための図書・文献・URL

- 日本非破壊検査協会編：新コンクリートの非破壊試験、技報堂出版、全361頁、2010.3.30
- 湯浅昇監修：特集「第三者が検証可能なRC構造体の品質・性能評価方法」、建築技術8月号、pp.91-177、2008.8.1
- 湯浅昇：非(微)破壊試験のための構造体コンクリートの物性解説、日本非破壊検査協会、非破壊検査、Vol.53、No.9、pp.538-544、2004.9
- 日大の非破壊のページ：<http://yuasa-cit-nihon-u.jimdo.com/非破壊試験/>

94

# 鉄筋コンクリート構造物の強度・透気性・鉄筋腐食に関する非破壊検査手法の研究 コンクリートの強度に関する非破壊・微破壊試験方法の現状

日本大学 湯浅 昇

State of the Art of Non-destructive and Mini-destructive Testing Methods for Concrete Strength

Nihon University Noboru YUASA

**キーワード** コンクリート、強度、非破壊試験、微破壊試験

## 1. はじめに

近年、「スクラップ&ビルド」から「長寿命化・資源循環型社会の構築」への移行にあたり、鉄筋コンクリート実構造物の「診断」に関する関心から、実に多くの非破壊試験・微破壊試験が考案・整備されてきた。コンクリートコアによって得られた試験結果は、信頼性が高いものの、小規模ではあるが破壊試験である。大がかりな作業や補修を伴い、それがまた高価な費用負担につながり、多数のデータを得ることはできず、点としての情報となることが多い。しかし、非破壊試験、わずかな破壊を許容する微破壊試験によれば解決が可能である。

しかしながら、非破壊試験、微破壊試験は万能ではなく、精度の良さを第一に考えて、最後は破壊試験に頼らざるを得ないことも多いのも実態である。非破壊や微破壊試験といった試験方法は、その名だけをみれば破壊を極力小さくした試験方法となるが、その重要な勘所は、普遍的な物性値をストレートに近い状態で試験できる場合はいいとして、その物性値に関連深いコンクリートの他の物性を測定することにより類推できるかである。だから必然的に万能ではない。更なる試験方法の開発・発展の重要性もさることながら、使用者の既存の試験方法に対する理解が極めて重要である。

ここでは、非破壊試験・微破壊試験のよりよい理解のために、対象となるコンクリート構造物の実態を紹介した上で、強度に関する既存の非破壊試験・微破壊試験を紹介し、その現状を解説するものである。

## 2. 破壊試験、微破壊試験、非破壊試験の位置づけ

(一社)日本建築学会では、1993年に刊行された「建築物の調査・劣化診断・修繕の考え方(案)・同解説」で、調査・修繕の手順の標準を示しており、劣化調査を表1に示す一次、二次、三次劣化調査に段階的にわけて進めることを提案している。ただし、実際には必ずしもこの通り行う必要はなく、例えば、一次、二次劣化調査によっても修繕の可否ができなければ、必ず次に三次調査を行うというのではなく、高次の調査に要する費用と修繕費を見比べ高次の調査に要する費用が過大である場合、修繕を実行する場合があるとしている。

さて、当時は用語として存在していなかった「微破壊試験」の位置づけであるが、その多くは三次劣化調査において、利用される試験である。三次劣化調査の中にあつて、構造物全体をみるための試験であり、破壊の大小は関係なく、破壊試験同様の精度で結論を決定できるものも多い。技術者の誤解を防ぐ意味で、三次劣化調査の項目・内容のみを表2とするのが妥当と考えられる<sup>1)</sup>。

## 3. 構造体コンクリートの不均質性

非破壊試験・微破壊試験の多くは、コンクリート表面からのアプローチにより実施される。実験室で試験体を作製し、十分水中養生や封かん養生を行った場合は、表面も内部もある程度同じ品質として理解してもよいが、一般的な実構造物

表1 一次・二次・三次劣化調査の相違点

診断レベル	目的・内容	行為者	方法	調査結果の表示	運用		
一次劣化調査	概況診断 保全診断	総括的な内容診断	一般的な建築技術者	目視、体感問診	足場準備せず 仕上材はつらず	記述および係数	各劣化現象 共通の診断
二次劣化調査	劣化診断	中程度の診断	専門技術者	非破壊試験が中心	脚立程度の足場 仕上材のはつり	計量	各劣化現象 個別の診断
三次劣化調査	劣化診断	詳細な診断	高度な専門技術者*	破壊試験を含む	大がかりな足場 躯体からの試料の採取	計量	各劣化現象 個別の診断

(注) \*学校教育で建築を専攻し、引き続き建築関係の実務に携わっている者で、所定の講習などの修了者。

表2 三次劣化調査案(湯浅)

診断レベル	目的・内容	行為者	方法	調査結果の表示	運用	
三次劣化調査	劣化診断 詳細な診断	高度な専門技術者*	微破壊試験 破壊試験	建物全体または局部的に 行う詳細試験	計量	各劣化現象 個別の診断

(注) \*学校教育で建築を専攻し、引き続き建築関係の実務に携わっている者で、所定の講習などの修了者。

の施工では、早期に脱型が行われることが多く、その場合、コンクリート表面から水分は蒸発し、内部に比し表層の水和は停滞・停止することになる。こうして実構造物のコンクリートは、深さ方向に不均質性を有することになる。図1はコンクリート内部の含水率分布を、図2は総細孔量の分布を示したものである<sup>2)</sup>。表層は内部に比し含水率が低く、細孔構造が粗い範囲は水セメント比60%以下の一般的なコンクリートでは、深さ5cm以内であるが粗悪なコンクリートでは更に深い層まで及ぶことがわかる。コンクリートは一塊といえども不均質である。

そして、当然、コンクリートの強度は、図3に示すように深さ方向に異なる<sup>3)</sup>。コンクリートのどのようなどこの強度を知りたいかという議論は非常に重要であるが、それをここでは横において考えるとして、表面からアプローチする非破壊試験・微破壊試験による結果は、このような内部とは異なる表層の品質を反映していることを理解している必要がある。前述したように非破壊試験、微破壊試験では、測定したい指標・物性値に対して、それに関連深いコンクリートの他の物性を測定することにより類推していることが多い。表3、表4は、それぞれ、非破壊試験・微破壊試験で取り扱うことのできるコンクリートの諸物性値に及ぼす含水率、細孔構造(ポ

ロシチー)の影響をまとめたものである<sup>4)</sup>。非破壊試験・微破壊試験の結果の検討、解釈ではこれらの影響を考慮するべきである。

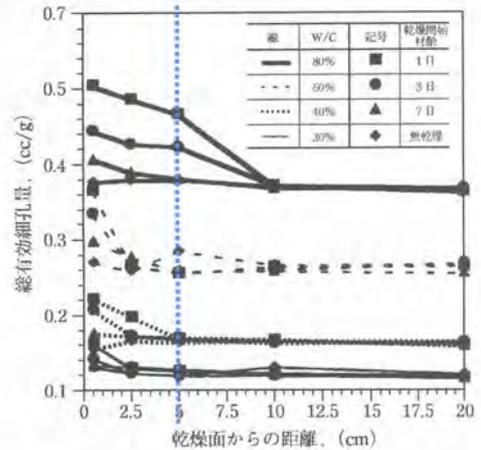


図2 総有効細孔量分布 (材齢28日)<sup>2)</sup>

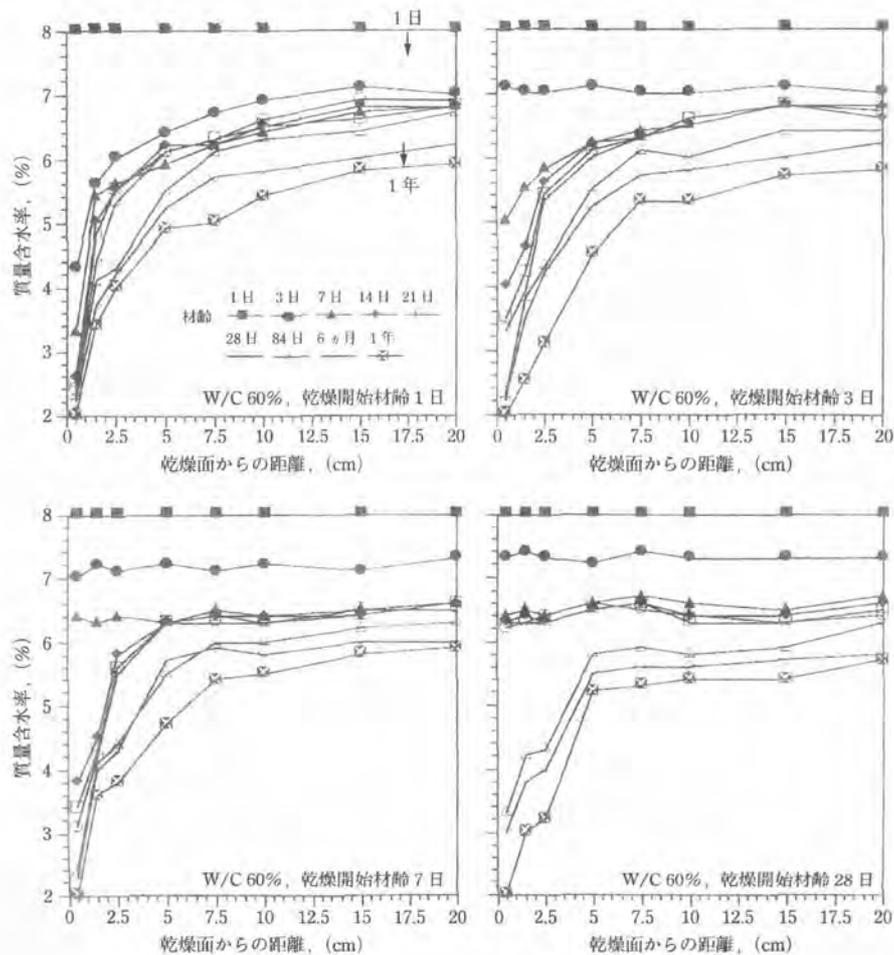


図1 乾燥表面から内部にわたる含水率分布 (20°C, R.H.60%)<sup>2)</sup>

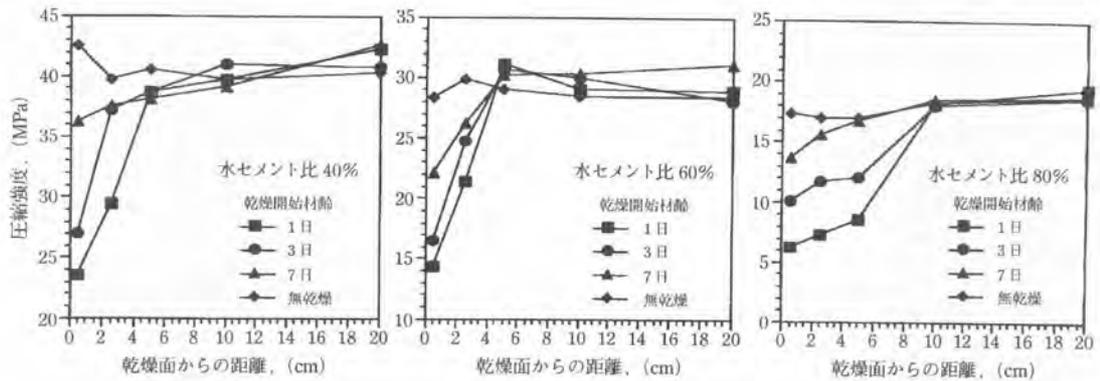


図3 乾燥と圧縮強度の分布 (材齢28日)<sup>3)</sup>

表3 コンクリートの諸物性値に及ぼす含水率の影響<sup>4)</sup>

物性	含水率	
	小 ←	大 →
強度	大 ←	小 →
硬度	大 ←	小 →
音速	遅 ←	速 →
誘電率	小 ←	大 →
電気抵抗	大 ←	小 →
自然電極電位	貴 ←	卑 →
熱伝導率	小 ←	大 →

表4 コンクリートの諸物性値に及ぼすポロシチーの影響<sup>4)</sup>

物性	ポロシチー	
	粗 ←	密 →
強度	小 ←	大 →
硬度	小 ←	大 →
切削抵抗	小 ←	大 →
音速	遅 ←	速 →
衝撃弾性波速度	遅 ←	速 →
共鳴振動数	小 ←	大 →
透気性	大 ←	小 →
透水性	大 ←	小 →
毛細管圧力	小 ←	大 →

表5 調査・試験の簡易性

調査現場に行く前の段階	使用する道具・装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数が少ない</li> <li>・入ししやすい (どこでも手に入る)</li> <li>・安い</li> <li>・機能が複雑でない</li> <li>・操作が簡単</li> </ul>
調査現場	試験器等の設置・セッティング・撤去・補修	<ul style="list-style-type: none"> <li>・段取り数が少ない</li> <li>・セッティング・撤去に時間がかからない</li> <li>・セッティング・撤去に経費がかからない</li> <li>・破壊程度が小さい</li> <li>・試験後の補修に時間がかからない</li> <li>・試験後の補修に経費がかからない</li> </ul>
	試験・操作	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験・操作に時間がかからない</li> <li>・必要な人数が少ない</li> <li>・試験・操作に熟練を必要としない (簡単である)</li> <li>・試験・操作に背景として高度な知識がいらない</li> <li>・一測定に時間がかからない</li> <li>・試験・操作現場で最終的に求める試験値が得られる</li> <li>・消耗品が少ない</li> <li>・試験・操作における経費がかからない</li> </ul>
調査現場から離れた段階	持ち帰りデータ・試料の処理・分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・段取り数が少ない</li> <li>・処理・分析に高度な機器がいらない</li> <li>・処理・分析に熟練や高度な知識がいらない</li> <li>・処理・分析に時間がかからない</li> <li>・処理・分析に経費がかからない</li> <li>・最終的に求める試験値を得るまでに時間・月日がかからない</li> </ul>

#### 4. 各種試験方法の概要

鉄筋コンクリート構造物の各種試験方法に「簡易」性が求められ、非破壊試験、微破壊試験と同じ土俵で扱われることが多いが、「簡易性」と「非破壊」・「微破壊」は本質的には別の議論である。ただし、「非破壊」・「微破壊」は、「簡易」につながるといえよう。試験に求められる「簡易性」を表5に整理してみた<sup>5)</sup>。

表6は、各種強度試験方法の種類と特徴を示したものである。これらの中からいくつかの試験方法について概要を以下に解説する。

##### 採取コアによる直接載荷試験 (小径コア法)<sup>6), 7)</sup>

JIS法に対し、小径コアによる方法は、直径25～50mm程度の小径コア (図4) を構造物から切り取り直接載荷する方法である。

微破壊試験の持つ利点に加え、これまでJIS法では困難で

あった帯筋・あばら筋間隔の狭い柱・梁への適用を可能とし、高さ補正・鉄筋補正を回避できる長所をもつ。

試験体が小さいので、構造体コンクリートの表層から深さ方向に層に分けて強度を評価できる反面、図3で示されるような構造体コンクリートの品質の不均質性を理解せず、直径の2倍が得られるからといって、表層部のみを採取し試験体とした場合、本質的な意味で、それが構造体コンクリートの強度を評価できているかという疑問が残る。目的に応じた採取方法の検討と結果の取り扱いに留意が必要である。

##### 矩形型枠より採取したコンクリートによる直接載荷試験<sup>8)</sup>

構造体コンクリートの打込みと同時に一体成形した供試体 (図5: ボス供試体) を強度試験に利用する方法であり、NDIS 3424「ボス供試体の作製方法及び圧縮試験方法」で規格化されている。

表6 構造体コンクリートの強度に関する試験方法の種類と特徴 (湯浅)

試験方法の種類	測定概要	長所	短所	備考	
直接法	JIS法	コアを切り出し、コアを直接強度試験に供する	直接強度を評価できる方法である	・柱・梁にはほとんどの場合適用できない ・直径の2倍の高さでコアを入手できないことがほとんどであり、補正を要する ・切断した骨材とペーストとの付着破壊が懸念される	・JIS A 1107, JIS A 1108で規格されている ・多くの場合、φ100mm コアが使われる ・測定された値は最も信頼性が高く、評価できるものと扱われることが多い
	小径コア法 <sup>6), 7)</sup>	JISに適用外の小径コアを切り出し、直接強度試験に供する	・直接強度を評価できる方法である ・柱・梁に適用できる ・直径の2倍の高さが確保されやすい ・目的に応じて、コンクリートの表層部と内部を分けて評価できる ・採取及び採取後の補修がJIS法に比し容易である ・現場持ち込み可能な低荷重装置により現場で強度の評価が可能な方法である	・切断した骨材とペーストとの付着破壊がJIS法に比べても更に懸念される ・直径10cm高さ20cmの円柱供試体を基準と考えると小径であることの寸法効果が懸念される ・試験体が表層部のものなのか内部のものなのか混同せず、またそれを明示する必要がある	日本建築学会からCTM-14「コンクリートからの小径コアの採取方法及び小径コア供試体を用いた圧縮強度試験方法(案)」が提案されている
	Point Load法	コア側面を曲率のある円錐支点で荷重し、破壊耐力を測定する。原理的には引張耐力の測定である	・小径コアを供試体にできる ・破壊荷重が小さいので、現場持ち込み可能な低荷重装置により現場で強度の評価が可能な方法である ・目的に応じて、コンクリートの表層部と内部を分けて評価できる ・直接圧縮強度試験と併用が可能と考えられる	・コア径、骨材種類に影響を受ける	・P. J. Robinsの提案による方法である
特殊矩形型枠を利用した方法	コンクリートの打設に先立ち、□100mm×長さ200mmの矩形型枠を設置し、構造体コンクリートと一体に充填された矩形型枠内のコンクリートを割取り、これを直接強度試験に供する	・直接強度を評価できる方法である ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・コア採取と同様の信頼性がある ・採取、及び採取後の補修が極めて容易である ・特殊矩形型枠によって採取した供試体は、構造体と同品質のものとして、強度以外の耐久性試験など利用が可能である	直径10cm高さ20cmの円柱供試体を基準と考えると、形状補正を要する	・白山・戸田建設が中心となって開発した試験方法である。当初、供試体の成形精度が推定精度に及ばず影響が大きく課題であったが、近年、型枠の改良により成型精度が向上した ・NDIS 3424として規格化されている	
打撃法	リバウンドハンマー法 <sup>9)-12)</sup>	コンクリート表面を打撃し、反発硬度を測定する	・測定が簡便 ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる	・コンクリート表面近傍のみの性状が反映する ・15×15cm程度の測定面が必要のため仕上げを取り除き、面を平滑にする必要がある ・圧縮強度への推定には多くの影響要因を補正する必要があり、関係式も多く、試験方法として確立できていない	・最も普及している非破壊試験方法であり、JIS A 1155として規格された。ただし、ハンマー、強度を推定する方法は規格外である ・実務者、研究者の間では、竣工検査レベルでの強度推定にはある程度期待できるが、年月を経過した構造物では推定は困難であるとの評価がある ・日本では、反発度に影響を及ぼす深さは1~2cm程度までであることを示した。最も普及しているN(R)型の他、P型(観音経)、新たにSilver型がある
	エコーチップ法 <sup>13)</sup>	直径3mmのテストチップの付いたインパクトボディを所定の速度でコンクリート表面に衝突させ、その打撃速度及び反発速度からエコーチップ硬さを求める	・計測機がコンパクトで測定が簡便 ・衝突エネルギーがリバウンドハンマーの2100~2300N・mmに対し11.5N・mmと小さい ・端部から5mm以上、隣接する測定点が3mm以上離れていれば測定ができ、供試体の寸法及び形状の制限を受けにくい	・コンクリート表面近傍のみの性状が反映する ・測定面が必要のため仕上げを取り除き、面を平滑にする必要がある	・ASTM A 956 "Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products"において鉄の硬度を測定する方法として規格化された方法を日大・熊谷組がコンクリートの圧縮試験推定方法として整理・提案した ・3mm以内の表層のコンクリート品質が反映される
	機械インピーダンス法 <sup>14)</sup>	剛球などに加速度計または力センサを内蔵した打撃体に取り付けたハンマー等により、反発過程の機械インピーダンスを測定する	・リバウンドハンマーの反発度が表層の性状の影響を受けるとの問題点が指摘されているが、この方法ではコンクリート内部の弾性体と見なせる内部の反発速度から強度を求める原理となっている	・測定面が必要のため仕上げを取り除く必要がある	・日本非破壊検査協会により、NDIS 34343「コンクリートの非破壊試験-打撃試験方法-第3部:機械インピーダンス試験方法」として、現在制定作業中である ・反発過程の機械インピーダンスは、打撃体がコンクリートに衝突する反発過程において打撃体がコンクリートから受ける最大の力と打撃体がコンクリートから離れるときの速度の比と定義される ・影響範囲は深さ100mm程度とされる
打撃変形法	コンクリート表面を打撃し、くぼみの深さ、直径、面積などを測定する	被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる	・コンクリート表面近傍のみの性状が反映する	・落下式ハンマ、ばね式ハンマ、回転ハンマ、ピストル硬球打撃による方法がある ・K. Gealeの提案によるが、最近ではほとんど用いられていない	

試験方法の種類		測定概要	長所	短所	備考
弾性波法	超音波法 <sup>15), 16)</sup>	コンクリートの超音波伝播時間を測定し、コンクリートの音速を求める	・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・同一箇所に繰り返し適用できる ・大きな振動エネルギーと受信周波数の選定により、良好な測定が可能である ・コアもしくは2つのコア間の音速により深さ方向の分布を測定できる	・材料・調合・材齢の影響を受ける他、表面の状態、含水率、ひび割れや内部空隙の有無、鉄筋量、配置などの影響を受ける ・使用周波数を高くすると指向性は高くなるが、音波の減衰は大きくなる	・NDIS 2426-1 “コンクリート構造物の弾性波による試験方法—第1部：超音波法”に規定されている ・(注) 土木研究所では同一平面に探触子を走査させ深さ方向の音速分布を把握し圧縮強度分布を評価している(表面走査法)
	衝撃弾性波法 <sup>17)</sup>	測定する部位に振動検出器をあて、その近傍をハンマーで叩くことにより、衝撃弾性波伝播速度を求める	・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・同一箇所に繰り返し適用できる ・超音波に比べても大きな振動エネルギーと受信周波数の選定により、良好な測定が可能である	・材料・調合・材齢に影響を受ける他、表面の状態、含水率、ひび割れや内部空隙の有無、鉄筋量、配置などの影響を受ける	・NDIS 2426-2 “コンクリート構造物の弾性波による試験方法—第2部：衝撃弾性波法”に規定されている ・超音波法の上記表面走査法にない同一平面に振動センサを走査させ深さ方向の弾性波伝播速度分布を把握し圧縮強度分布を評価する試みがある
	共振法	切り出したコンクリートコアもしくは角柱の縦振動の一次共振振動数を測定する	・測定が簡便である ・同一試験体に繰り返し適用が可能である	・供試体の形状、寸法に制約がある	・JISA 1107, JISA 1127に基づいて動弾性係数を測定する ・構造物コンクリートを用いた耐凍結融解性の評価に利用できる
撓曲法	引っかけ傷法 <sup>18)~21)</sup>	引っかけ試験器もしくは釘により、所定の荷重でコンクリート表面を引っかかり、その時の傷幅をクラックスケールで測定する	・測定が簡便 ・被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる ・傷かである引っかけ傷が残るのを許容できる場合、非破壊試験と位置付けられる ・脱型前のコンクリートを供すれば強度発現が評価できる ・内部のコンクリートとは相違することを前提に任意の時に表層劣化度を評価できる	・表面強度、表層劣化を評価するための方法であり、脱型前などはコンクリート強度発現を推定することも可能であるが、脱型後の乾燥の影響や劣化を受けた場合、内部の強度までを推定できるものではない ・高い強度(30N/mm <sup>2</sup> 以上)域での推定は困難である	・日本建築士学会が床スラブの強度に関わる試験器として開発し、日大が構造物コンクリートの強度発現及び表層強度試験方法として整理した。構造物コンクリートに直接引っかけ方法と門柱供試体に適用できる方法がある ・三重大・名大では、荷重を考慮できる試験者により釘を用いて、極めて簡便に、多くのコンクリートを短時間で評価する試験方法として提案している ・名大では、コア側面に引っかけ試験器を適用させ、コアの採取時におおよその強度評価が可能であり、有効であると報告している
	コア法 <sup>20), 22)</sup>	コンクリートコアの切削効率を測定する	・深さ方向の強度分布を推定できる ・コア採取時にリアルタイムで評価が可能である	・骨材の影響を除去するためには、コア供試体による直接強度試験を併用する必要がある ・骨材最大粒径以下のコアドリルを使用した場合、コア径の影響が無視できない	・大同工大、東北学院大学の検討実績があり、火害診断、アルカリ骨材反応劣化診断に適用している
切削抵抗法	ドリル法 <sup>20), 23)</sup>	定の力で押しつけたドリルの削孔速度、もしくは定速切削による反力や削孔エネルギーを測定する	・試験及び試験後の補修が極めて容易である ・深さ方向の強度分布を推定できる ・ドリル削孔時にリアルタイムで評価が可能である	・ビットの形状、切れ味の影響が大きい ・骨材の影響が大きい	・清水建設が反力と圧縮強度の関係を、飛鳥建設が消費電力との関係を示しており、更に精度向上が必要であるが、構造物コンクリートへの適用可能性を示している ・日本診断設計が提案しているφ3mm程度ドリル刃による方法は、煉瓦、タイル、テラコッタに適用できるが、コンクリートへの展開は途上である
	コア法 <sup>20), 24)</sup>	コンクリートコアの切削効率を測定する	・深さ方向の強度分布を推定できる ・コア採取時にリアルタイムで評価が可能である	・骨材の影響を除去するためには、コア供試体による直接強度試験を併用する必要がある ・骨材最大粒径以下のコアドリルを使用した場合、コア径の影響が無視できない	・大同工大、東北学院大学の検討実績があり、火害診断、アルカリ骨材反応劣化診断に適用している
貫入抵抗法	ウィンザーブロープ法 <sup>25)</sup>	コンクリートに鉄でブロープを打込み貫入深さを測定する	・測定が比較的容易	・火災を用いるため危険 ・鉄の取り扱い資格を有する熟練工が必要 ・ブロープはガスで溶断するか、引き抜いて補修(φ100程度の損傷)が必要である ・使用骨材に影響を受ける	・ASTM C 803として規格化されており、北米では初期材齢における強度管理に使われている ・日本では使用実績がない
	ウィンザーピン法 <sup>27)~29)</sup>	ウィンザーピン(φ3.6×30.5mm)をバネでコンクリートに貫入させ、その貫入深さを測定する	・ウィンザーブロープ法と異なり火災を使用しない ・測定が比較的容易	・取扱中の放射に万全の注意が必要である ・ピンが骨材に当たるか当たらないかにより測定値が大きく変わるのでコンクリートへの適用は不利である	・ASTM C 803でウィンザーブロープ法とともに規定されている ・名市大、名大、日大によるイタリアのレンガ建築物への適用例がある
	針貫入法 <sup>30)</sup>	コンクリート表面に針を貫入し、荷重と貫入量との関係を求める	・(小径)コアの側面に対して深さ方向に移動させ実施した場合深さ方向の強度分布を推定できる	・針が粗骨材に当たった時の結果を統計的に削除する必要がある	・東北大が提案した方法である ・自動針貫入試験機を用いて約2mm間隔で測定が可能である
	孔内局部載荷法 <sup>31), 32)</sup>	コアを抜き取ったコンクリート孔側面局部を半球錐子で載荷し、載荷重と貫入量との関係を測定する	・深さ方向の強度分布が測定できる	・コアを抜き取る必要がある ・錐子が骨材に当たるか当たらないかにより測定値が大きく変わるので測定結果の分析が必要である ・試験方法として更に整備・検討が必要である	・田嶋地質が考案した方法である

解説

試験方法の種類		測定概要	長所	短所	備考	
引き抜き法	ピン引き抜き法	ピン埋め込み法 <sup>40)~46)</sup>	・ 予めコンクリートに埋め込んだピンの引き抜き耐力を測定する	・ 若材齢コンクリート、低強度コンクリートに適用	・ 予めインサートをコンクリートに埋め込む必要がある ・ 不規則な円錐形の局部破壊を生じる ・ 試験後に補修が必要	・ ASTM C 900 に規定がある ・ LOK 試験がある ・ 京大、八戸高専での広範な実験検証実績がある
		ピン後付法 <sup>37)~39)</sup>	・ コンクリートに孔をあけ、特殊なアンカピンを挿入して耐力を測定する	・ 打設時に予めピンを埋め込む必要がない	・ 不規則な円錐形の局部破壊を生じる ・ 試験後に補修が必要	・ CAPO 試験、Internal fracture 試験、ESCOT expanding sleeve 試験があるが、CAPO 試験には特殊な削孔技術を要する
	引張法	表層引張法	・ 正方形の鋼板をコンクリート表面に貼り付け、鋼板周辺に切り込みを入れ引張強度を測定する	・ 切り込み深さに応じて測定できる	・ コンクリートと鋼板の接着のため試験には最低 2 日を要する ・ 試験後に補修が必要	・ コンクリートに施した仕上げ材の接着試験への適用例が多い
		コア引張法 <sup>40), 41)</sup>	・ 所定の深さまでコア切断を行いコアを直接引き抜き耐力を測定する	・ 内部の強度が把握できる	・ コアの切断が必要 ・ コアの引き抜きのための装置の装置・設けが難しい ・ 試験後に補修が必要	・ プルオフ法と称される ・ 海外の他、日本では八戸工大での研究実績がある
曲げ折り法	コア曲げ折り法	・ (小径) コア頂点近傍の側面に切り込みを入れた上で、水平力を加えて曲げ破壊耐力を測定する	・ 内部の強度が推定できる	・ 特殊な水平加力装置が必要である ・ 試験後に補修が必要	・ Einar Dahl-Jorgensen らにより内径 55 深さ 70mm の切り込みを入れて行う Break-off 試験が提案されている	
ねじり破壊法	埋め込み式ねじりせん断破壊法	・ 刃型の特殊な棒を埋め込みコンクリートのねじりせん断破壊耐力を測定する	・ 初期材齢における強度管理に適用する	・ コンクリート打設前に準備が必要である ・ 竹材の混和材の影響を受ける ・ 試験後に補修が必要	・ Stoll によって提案された方法である	
細孔構造法	水銀圧入法 <sup>42)</sup>	・ 水銀圧入法によりコンクリートの単位ペースト当たりの細孔構造の指標を測定する	・ 形状によらず、コンクリートから採取した小塊もしくはコアを適用できる ・ 切断可能な局部 (1~2mm 程度) ごとに評価が可能である	・ 高価な水銀圧入装置が必要である ・ 試料の作製、測定に時間と手間を要する	・ 多孔材料全般に考えられていた概念を北大がコンクリートの基本物性から検討し提案した方法である ・ 日大は北大の提案を受け、有効細孔量のみから推定する簡易な方法を提案し、深さ方向の推定強度分布を示している	
	吸水法 <sup>43)</sup>	・ 吸水法によりコンクリートの単位ペースト当たりの細孔量を測定する	・ 形状によらず、コンクリートから採取した小塊もしくはコアを適用できる ・ 切断可能な局部ごとに評価が可能である ・ 安価な一般化学器具及び試薬で測定が可能である	・ 試料の作製、測定に時間と手間を要する ・ 有効細孔量以外の指標を考慮に入れない分、北大提案の水銀圧入法に比し推定精度には限界がある	・ 水銀圧入法 (日大法) をもとに測定方法を簡便化したもの	
温度管理法	積算温度法 <sup>44)~46)</sup>	・ コンクリート打設後の強度発現を推定する方法で、構造体コンクリートの温度を測定し、温度と時間の積を求める	・ 初期材齢の温度管理に適用する ・ 気温の低い場合、高温蒸気養生などを行う場合等での適用が期待される	・ 水セメント比が計画通りであることが大前提である ・ 精度のよい積算温度と圧縮強度の関係が得られていることが前提である ・ 測定した温度が構造体コンクリートの温度を代表できていることが前提である	・ 日本では北大が整備展開した DD 式、日大が整備展開した T 式がある ・ 温度の測定には、温度計の熱電対が利用され自動記録して利用されている ・ 積算温度を測定できる COMA メーターが市販されている ・ DD 式では、初期温度補正項の導入により初期コンクリートでの精度が改善された	
	温度履歴追従供試体法 <sup>47)</sup>	・ コンクリート打設後の強度発現を評価する方法で、構造体コンクリートの実測温度に基づき、管理用供試体の養生温度を自動的に再現し、その試験体の強度を測定する	・ 実際の調合等の情報がなくとも打設したコンクリートを使って供試体を作製できれば適用できる ・ 初期材齢の温度管理に適用する ・ 気温の低い場合、高温蒸気養生などを行う場合等での適用が期待される	・ 測定した温度が構造体コンクリートの温度を代表できていることが前提である	・ 北大、清水建設の研究及び実施の例がある	



図4 小径コア  
(左からφ100mm, φ75mm, φ50mm, φ33mm, φ25mm)

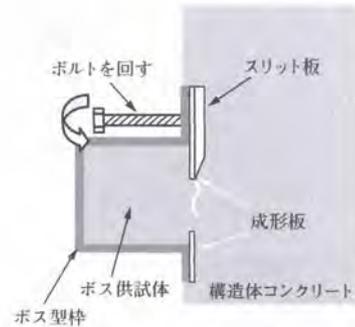


図5 ボス供試体の割取り手順 (断面図)

重要な構造体を損傷させることなく、材料、調合、養生の観点から構造体コンクリートと同じと考えてよいコンクリートを採取でき、直接載荷試験できることが特徴といえる。測定された圧縮強度はある程度の信頼性が確保されているといえよう。また、試験体は、中性化促進試験等に供することが可能で耐久性の試験に適用できる。

リバウンドハンマー法<sup>11)~12)</sup>

2003年、コンクリートの反発度の測定に関しては、JIS A 1155「コンクリートの反発度測定方法」としてJIS制定されたが、反発度の測定結果から強度を推定する方法については、規格の範囲外となっている(図6)。

反発度と圧縮強度の関係は、研究者・試験条件によって異



図6 各種リバウンドハンマー

なっている。圧縮強度を推定するまでには、多くの未解決な課題が残っており、正確な強度推定に至るまでには、結局のところ、多くの時間と手間がかかる手法である。情報の多い新設ならともかく、竣工後数年経過したコンクリートの強度推定は、相当数のコアによる破壊試験と反発度と対応があること、工学的に議論・検証のできる技術者の検証があって、はじめてなんとかおおよその範囲で可能であり、ただ反発度を測るだけでは無理である。

反発度は、深さ1~2cmまでのコンクリートの品質を反映したものと研究報告がみられる。

エコーチップ法

エコーチップは、図7に示す直径3mmのテストチップの付いたインパクトボディを所定の速度で供試体表面に衝突させ、その打撃速度及び反発速度からエコーチップ硬さ値を求める装置であり、ASTM A 956「Standard Test Method for Leeb Hardness Testing of Steel Products」において鉄の硬度を測定する方法として規格化されている。

エコーチップの特徴は、衝突エネルギーがリバウンドハンマーの2100~2300N・mmに対し11.5N・mmと小さいこと、

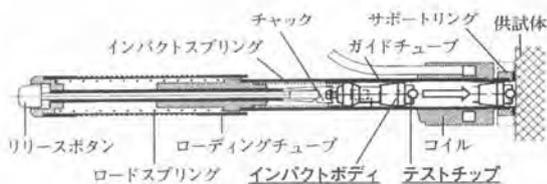


図7 エコーチップ

計測機がコンパクトで測定が容易であること、端部から5mm以上、隣接する測定点が3mm以上離れていれば測定ができ、供試体の寸法及び形状の制限を受けにくいことが挙げられる。

野中・湯浅らは、このエコーチップをコンクリートに適用させて、コンクリートの圧縮強度推定試験方法として提案<sup>13)</sup>しており、硬さ値は表層3mmのコンクリートの品質を反映しているとしている。

機械インピーダンス法<sup>14)</sup>

リバウンドハンマーでは、打撃力のうちの一部がコンクリート表層の塑性変形により消費され、残りのエネルギーによってプランジャーが押し戻される量が反発度となる。原理的には測定される反発度に対して打撃力は一定ではなかったということになる。機械インピーダンス法は、表層の塑性の影響とコンクリート内部の弾性体とみなせる部分を分離し、後者の弾性体の反発速度から機械インピーダンスを求め、強度を評価する方法である。

剛球などに加速度計または力センサを内蔵した打撃体に取り手をつけたハンマーを用いてコンクリートを打撃し、反発過程(図8)の機械インピーダンス(打撃体がコンクリートに衝突する反発過程において打撃体がコンクリートから受ける最大の力と打撃体がコンクリートから離れるときの速度の比)を測定する。

現在、(一社)日本非破壊検査協会のNDIS 3434-3「コンク

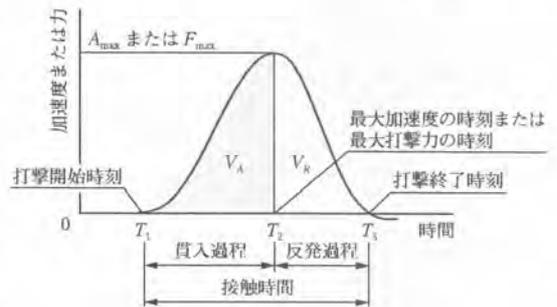


図8 測定波形

リートの非破壊試験—打撃試験方法—第3部：器械インピーダンス試験方法」として、日本非破壊検査協会にて制定作業中である。

弾性波法

コンクリートの音響特性を測定し、強度を推定する弾性波法には、超音波伝搬速度を用いる方法(図9)<sup>15)</sup>、衝撃弾性波速度を用いる方法(図10)<sup>17)</sup>がある。NDIS 2426-1(コンクリート構造物の弾性波による試験方法)の第1部に超音波法、第2部に衝撃弾性波法が規定されている。

(独)土木研究所が同一平面に探触子を走査させ深さ方向の音速分布を把握し圧縮強度分布を評価する表面走査法を提案しており、衝撃弾性波法においてもこれにない深さ方向の弾性波伝搬速度分布を把握し圧縮強度分布を評価する試みがある。

暴露試験体に対し超音波伝搬速度を測定し、相対動弾性係数を推定する事例も見受けられる<sup>16)</sup>。

引っかかり傷法<sup>18)~20)</sup>

所定のピンをコンクリート表面に所定の荷重で押しつけながら引っかかり(図11)、その傷幅からコンクリートの強度を

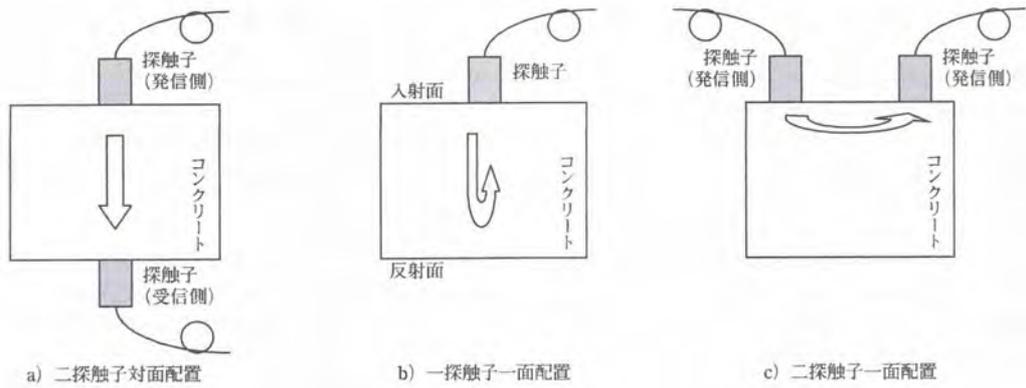


図9 超音波伝搬速度の測定の際の探触子の配置

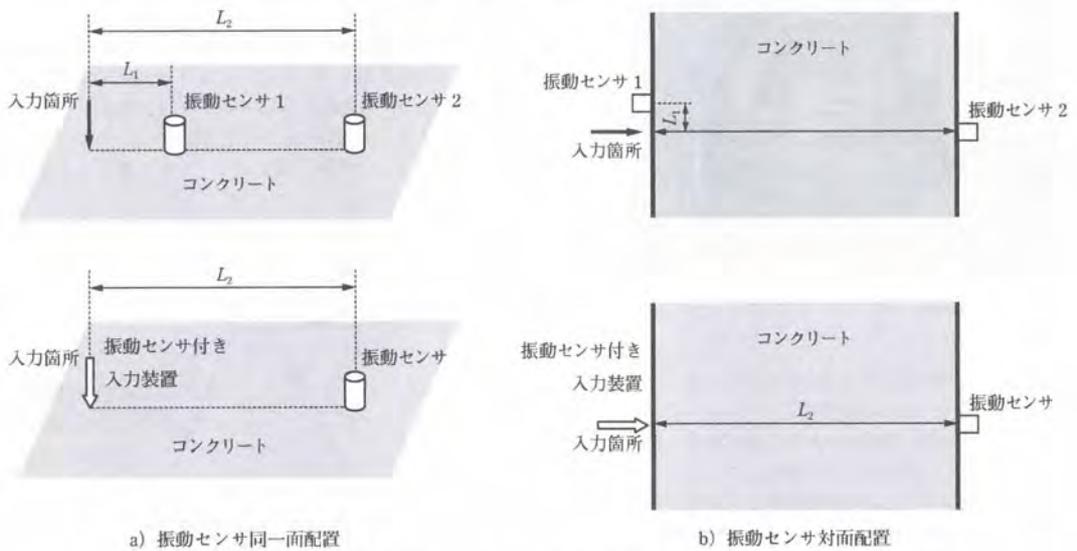


図10 弾性波伝搬速度の測定の際の入力装置と振動センサの配置例

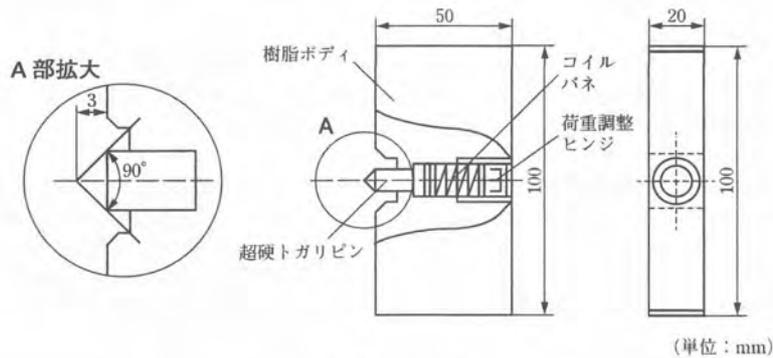


図11 引っかかり試験器

推定する。測定した傷幅をあらかじめ求めておいた傷幅と圧縮強度の関係に対応させる。脱型前などはコンクリート強度発現を推定することも可能であるが、図3でみられる脱型後の乾燥の影響及び中性化に伴う不均質や劣化などを受けた場合、内部の強度を推定できるものではない。適用上、留意し

なければならない。コンクリートコア側面(中央部)に対して、この試験方法を適用すると、コア採取時におおよその強度を評価することが可能である(図12)<sup>21)</sup>。

孔内局部荷荷法<sup>31)</sup>

φ42mm以上のコアを抜き、コア孔にφ40mmの孔内局部載



図 12 コア側面への引っかき



図 13 孔内局部荷重装置

荷試験装置(図13)を挿入し、φ6mm半球状の端子でコア孔側面を載荷させ、貫入量と荷重の傾きを「貫入抵抗値」として指標化する。これをあらかじめ求めておいた貫入抵抗値と圧縮強度の関係から圧縮強度を推定する。

任意の深さで測定が可能なので、コンクリートの表層から内部にわたる圧縮強度分布が得られ、コンクリート構造物の劣化の深さを把握することもできる。火害深さや凍害深さ<sup>32)</sup>などを評価した適用事例(図14)もみられる。

なお、採取したコアを用いて小径コアによる圧縮強度を併せて試験することにより、得られた推定強度の評価の信頼性を向上させられる。

なお、ここで紹介した以外の試験方法の詳細は、文献48)で確認いただきたい。

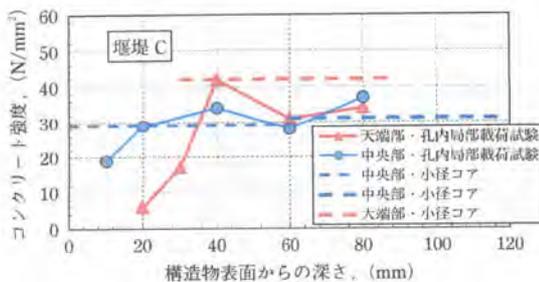


図 14 凍害の劣化深さ測定事例<sup>17)</sup>

## 5. おわりに

非破壊試験・微破壊試験は、破壊試験に対し単なる低次の劣化調査用試験ではなく、近年の非破壊試験、微破壊試験の開発・整備が、これまで破壊試験だけではできなかった本質的な健全性診断体系をもたらしたといっても過言ではない。非破壊試験、微破壊試験でなくては、無理であることも多い。

診断の目的に対して必要な精度、破壊の許容度、許容できる費用のバランスの中で、適切な試験方法を選択するべきである。

構造体コンクリートの強度試験方法は多種にわたる。容易に、安価で、構造物をあまりきずつけないこと、強度を正確に評価することが可能な試験方法の出現を社会は期待している。今後もこれらを全て満たす試験方法の出現は難しい状況にあるが、唯一の万能な試験方法でなくとも、試験方法を理解し、目的に応じて選択・採用すれば、構造体のコンクリートの強度を理解することは可能な時代である。

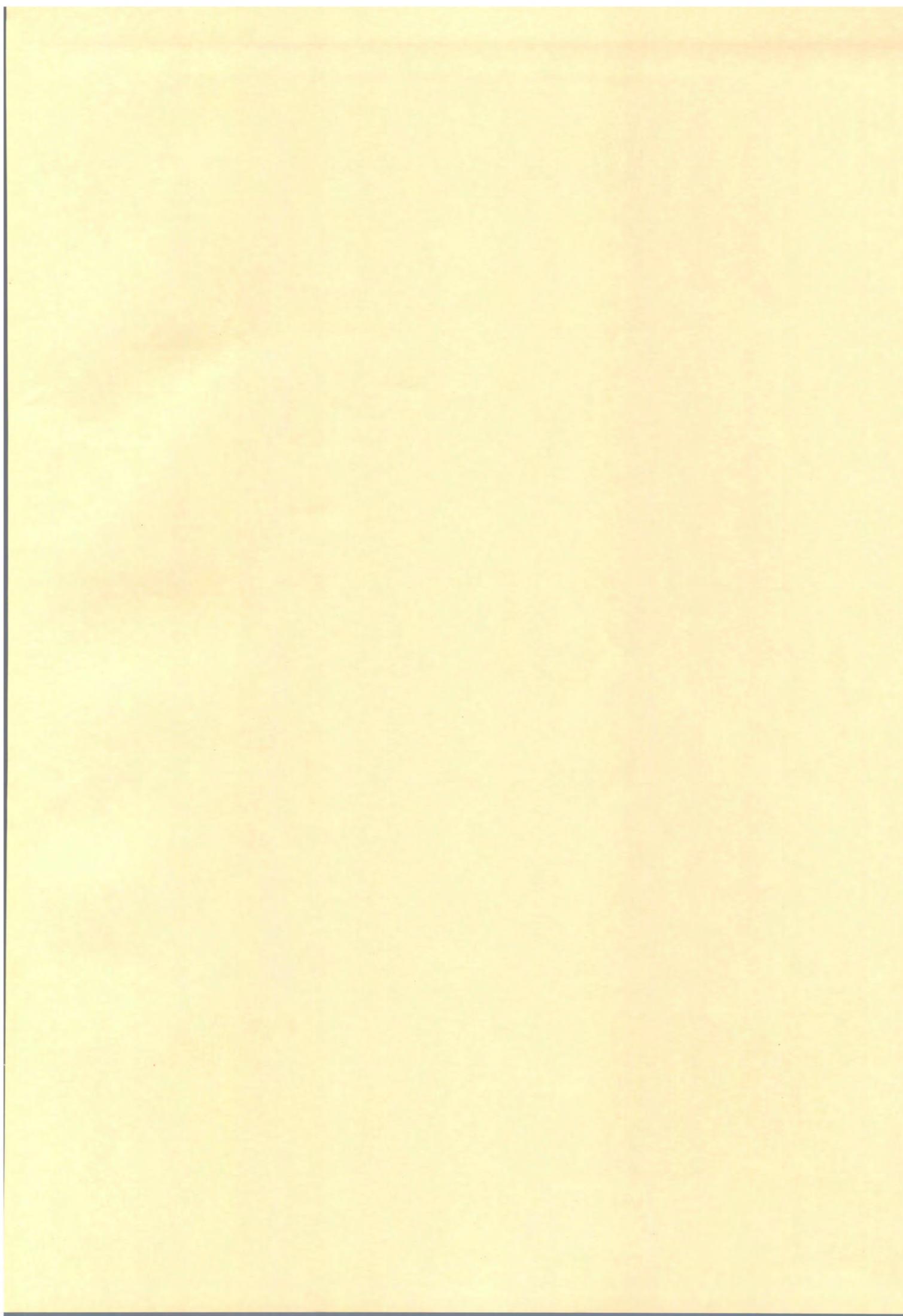
## 参考文献

- 湯浅 昇：鉄筋コンクリート構造物の劣化・耐久性診断方法，日本コンクリート工学協会，コンクリート工学，46(1)，pp.23-30，(2008)
- 湯浅 昇，笠井芳夫，松井 勇：乾燥を受けたコンクリートの表層から内部にわたる含水率，細孔構造の不均質性日本建築学会構造系論文集，第509号，pp.9-16，(1998)
- 湯浅 昇，笠井芳夫，松井 勇：構造体コンクリートの表面から内部にわたる圧縮強度分布，セメント協会，セメント・コンクリート論文集，No.51，pp.840-845，(1997)
- 湯浅 昇：非(微)破壊試験のための構造体コンクリートの物性解説，日本非破壊検査協会，非破壊検査，53(9)，pp.538-544，(2005)
- 湯浅 昇：コンクリート構造物の非破壊試験・微破壊試験の研究と実用化，建材試験情報，pp.2-8，(2013)
- 若林信太郎，谷川恭雄，中込 昭，佐原晴也，寺田謙一：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.555，pp.1-8，(2002) および No.556，pp.9-16，(2002)
- 国本正恵，湯浅 昇，笠井芳夫，松井 勇：小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度試験方法の検討，日本コンクリート工学協会，コンクリート工学年次論文報告集，22(1)，pp.427-432，(2000)
- 篠崎 徹，板谷俊郎，藤井和俊，毛見虎雄，白山和久：ボス供試体による構造体のコンクリートの圧縮強度試験方法と強度測定，日本非破壊検査協会，シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集，1，pp.89-98，(2003)
- 日本建築学会：コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル，日本建築学会，pp.10-28，(1983)
- 日本材料学会実施コンクリート強度判定委員会：シュミットハンマーによる圧縮強度推定式，(1958)
- 湯浅 昇：コンクリート強度測定におけるリバウンドハンマーの位置づけ，工文社，建築仕上技術，32(383)，pp.40-49，(2007)
- 湯浅 昇：リバウンドハンマーによる強度推定に関する話題提供—各種リバウンドハンマーの相互比較，リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度との関係を求める方法の提案—日本コンクリート工学協会，コンクリート工学，48(12)，pp.23-30，(2010)
- 野中 英，湯浅 昇，三谷和裕，金森誠治：エコーチップを用いたコンクリートの圧縮強度推定試験方法の提案，日本建築学会技術報告集，23(54)，掲載決定，(2017)
- 境 友昭，極權邦夫，久保元樹，久保 元：接触抵抗によるコンクリート強度の推定，日本非破壊検査協会，シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集，1，pp.57-64，(2003)

- 15) 森濱和正, 野田一弘, 松浦誠司: キャリブレーション用供試体の音速分布と強度の関係, 日本非破壊検査協会, シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集, 1, pp.25-30, (2003)
- 16) 湯浅 昇, 小瀬木美紗: 超音波伝搬速度を用いた暴露及び促進用コンクリート試験体の相対動弾性係数評価, 日本非破壊検査協会, シンポジウムコンクリート構造物の非破壊検査論文集, 4, pp.101-104, (2012)
- 17) 岩野聡史, 首藤浩一, 森濱和正, 境 友昭, 極權邦夫: 衝撃弾性波法による現地でのコンクリート構造物の圧縮強度の推定, 日本非破壊検査協会, シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集, 1, pp.49-56, (2003)
- 18) 浅見 勉: 床下地表面硬さの簡易測定方法に関する研究, 日本工学会, FINEX, 9(54), pp.22-26, (1997)
- 19) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇, 藤崎幸代: 引っかき傷によるコンクリートの圧縮強度試験方法の提案, 日本非破壊検査協会, シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集, 1, pp.115-122, (2003)
- 20) 畑中重光, 和藤 浩, 谷川恭雄: 劣悪コンクリートの簡易診断に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 573 号, pp.29-35, (2003)
- 21) 西川奈津子, 山根政夫, 谷川恭雄, 鈴木計夫: 各種非破壊試験法による低強度コンクリートの強度推定方法に関する研究 (その 2 引っかき傷法), 日本建築学会大会学術講演要集 A-1, pp.241-242, (2007)
- 22) 太田福男: コンクリート部材表層部の圧縮強度推定方法, 鉄筋コンクリート構造物の計測と表面探傷シンポジウム講演論文集, 日本非破壊検査協会, pp.37-42, (2001)
- 23) 太田福男: 切削効率と超音波法によるアル骨反応進行無筋コンクリート構造物全体の劣化度評価方法について, 第 30 回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.69-74, (2003)
- 24) 太田達見: ドリル削孔法によるコンクリートの圧縮強度推定に関する一検討, 日本建築学会大会学術講演要集 A-1, pp.709-710, (2003)
- 25) 長谷川哲也, 長谷川直司, 畑中重光, 三島直生, 谷川恭雄: 構造物の表層部強度を推定するための携帯用測定機器の開発, 日本非破壊検査協会, シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集, 1, pp.107-114, (2003)
- 26) J. H. Bungey: TESTING of CONCRETE in STRUCTURES 2nd edition, pp.65-75, (1989)
- 27) K. W. Nasser and A. A. Al-Manaseer: New non-destructive test, Concrete International, 9(1), pp.41-44, (1987)
- 28) 庄谷征美, 月永洋一, 杉田修一: ピン貫入試験によるコンクリート強度の推定について, 第 45 回セメント技術大会講演集, pp.370-375, (1991)
- 29) 青木孝義, 込山貴仁, 谷川恭雄, 湯浅 昇: ヴィコフォルテ教会堂の劣化現況に関する非破壊検査, コンクリート工学年次論文集, 25(1), pp.1613-1618, (2003)
- 30) 三浦 尚, 岩城一郎, 板橋洋房: 針貫入試験によるコンクリート構造物の劣化診断に関する研究, 土木学会論文集, 43(620), pp.245-255, (1999)
- 31) 皿井剛典, 田中 徹, 澤口啓希: 孔内局部載荷試験による構造物深度方向のコンクリート物性の評価, 日本コンクリート工学会, 「コンクリート構造物の最先端診断技術に関するシンポジウム」論文集, pp.39-46, (2015)
- 32) 皿井剛典, 川西英司, 北川義治: 孔内局部載荷試験による砂防堰堤の劣化深さ評価, 砂防学会, 第 60 回平成 23 年度砂防学会研究発表会要集, pp.24-27, (2011)
- 33) O. Richard: Pull-out strength of concrete. Sepec, Tech, Publ STP 626. American Society of Testing and Materials, Philadelphia, pp.30-40, (1977)
- 34) I. M. Khoo: Poullout technique-an additional tool for in situ concrete strength determination, ACI SP-82, in situ Nondestructive Testing of Concrete, (1984)
- 35) 森田司郎, 小松勇二郎, 近藤吾郎: 引抜き試験によるコンクリート推定強度への諸要因の影響—コーシコ法, 乾燥, 粗骨材量の影響—, セメント技術年報, 37, pp.217-220, (1983)
- 36) 小松勇二郎, 森田司郎: 構造物コンクリート強度管理への引抜き試験方法への応用, 日本建築学会学術講演梗概集 A (東北), pp.97-98, (1991)
- 37) C. G. Petersen: Lok-test and CAPO-test development and their applications, Proceedings, Part 1 Design and Construction Institution of Civil Engineers, Copenhagen, 76, (1980)
- 38) A. J. Chabowsk, and D. W. Bryden-smith: A simple pull-out test to assess the strength of in-situ concrete, Current Paper CP25/77, Building Research Establishment, Garston, (1977)
- 39) P. L. Domone and P. F. Castro: An expanding sleeve test for in-situ concrete and mortar strength evaluation, Proceeding of Structure Faults and Repair 87, Engineering Technics Press, Edinburgh, pp.149-156, (1987)
- 40) A. E. Long and A. McC. Murray: The "pull -of" partially destructive test for concrete, ACI SP-82, in situ Nondestructive Testing of Concrete, (1984)
- 41) 月永洋一, 庄谷征美, 菅原 隆: 表層部の緻密化によるコンクリートの品質改善に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.46, pp.570-573, (1992)
- 42) 吉野利幸: 空隙指標による強度式表示とその応用, 北海道大学博士学位論文, (1996)
- 43) 湯浅 昇, 笠井芳夫, 松井 勇, 吉野進也: 有効吸水量に基づく硬化コンクリートの水セメント比, 圧縮強度推定方法, 第 58 回セメント技術大会, pp.74-75, (2004)
- 44) 洪 悦郎, 鎌田英治, 田畑雅幸, 浜 幸雄: ロジスティック曲線を応用したコンクリートの強度推定式の提案—普通ポルトランドセメントの場合—, 日本建築学会構造系論文報告集, No.367, pp.1-7, (1986)
- 45) 笠井芳夫: コンクリートの初期圧縮強度推定方法, 日本建築学会論文報告集, No.141, pp.1-10, (1967)
- 46) 鎌田英治, 洪 悦郎, 林 直樹: 各種セメントを用いたコンクリートの強度増進性状, セメント協会, セメント・コンクリート論文集, No.44, pp.360-365, (1990)
- 47) 西田 朗, 洪 悦郎, 鎌田英治, 桂 修, 岡田武二, 桑原隆司: 自然条件におけるコンクリート強度発現を考慮した施工支援システムの提案, 日本コンクリート工学協会, 日本コンクリート工学協会, 「自然環境とコンクリート性能に関するシンポジウム」論文集, pp.19-24, (1993)
- 48) 谷川恭雄, 魚本健人, 湯浅 昇, 山田和夫, 込山貴仁, 永山 勝, 濱崎 仁: コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法, セメントジャーナル社, pp.19-47, (2006)



湯浅 昇 日本大学 (275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1) 生産工学部・教授  
日本非破壊検査協会鉄筋コンクリート構造物の非破壊試験部門主査, 同コンクリート強度に関する試験方法研究委員会委員長。学位は「表層コンクリートの品質に関する基礎的研究」。物性研究の表裏の関係である非破壊・微破壊試験の開発・発展に挑む  
<http://yuasa-cit-nihon-u.jimdo.com/>







ご清聴ありがとうございました

2017年2月21日

千葉県非破壊検査研究会  
第31回研究発表会

## 配管架台接触部の減肉量評価手法

新日本非破壊検査株式会社  
関東支社 安全・品質管理課  
長島 麻衣

1

### はじめに

国内のプラントの多くが建設後30年以上経過しており、老朽化に伴う配管の劣化や損傷に起因した漏えい事故が起きている。配管においては保温材下配管外面腐食(CUI)や架台接触部の外面腐食が問題となっている。



コスト・時間

配管を持上げて  
検査を実施

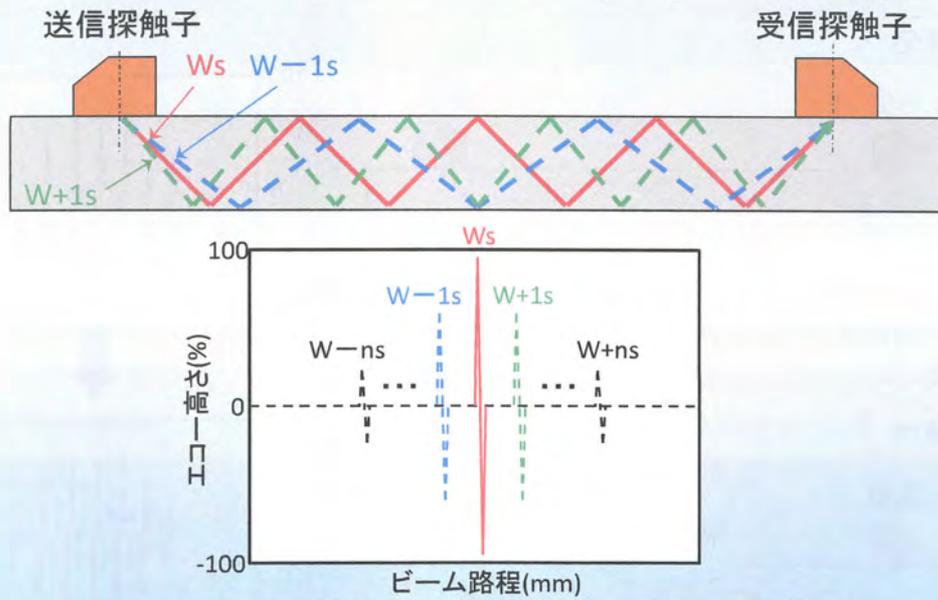


より簡便な検査法が  
求められる

V透過法による配管架台接触部減肉測定方法について検討

2

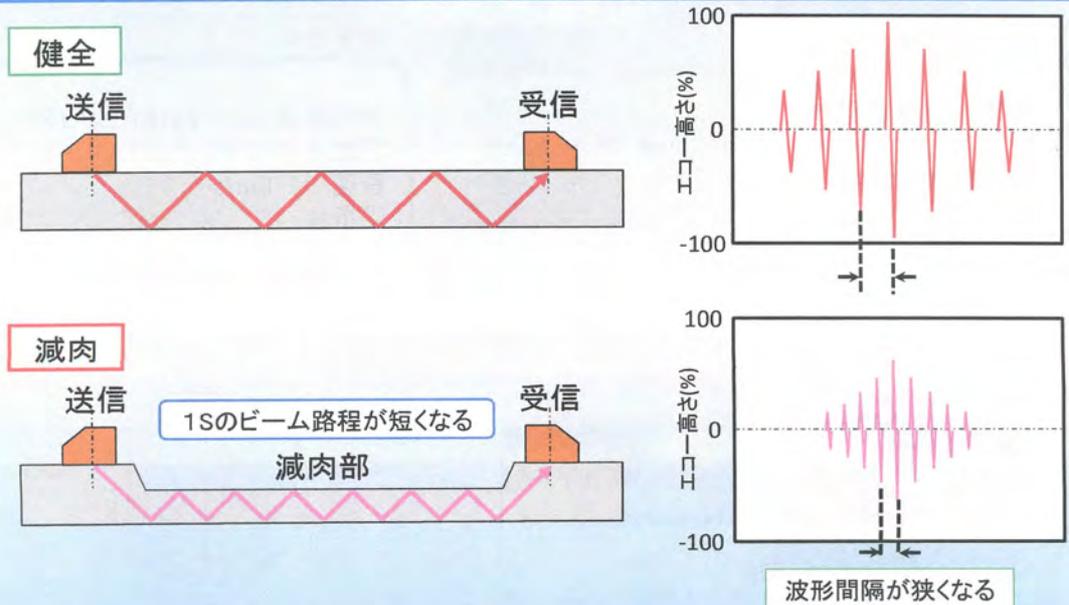
## V透過法による減肉測定原理



屈折角・音波のスキップ数によって  
複数の透過エコーが得られる

3

## V透過法による減肉測定原理(なだらかな減肉)



波形間隔より減肉量を測定

4

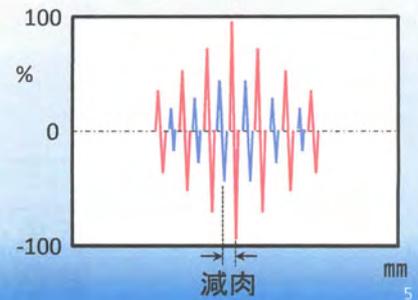
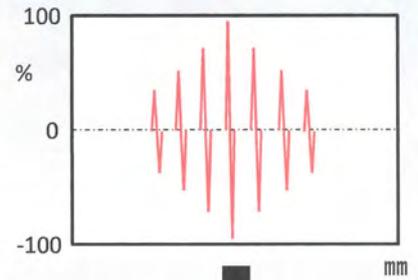
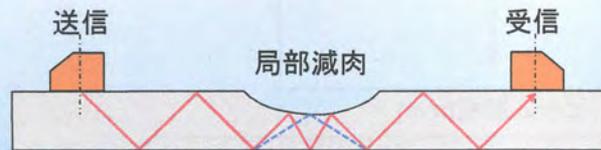
## V透過法による減肉測定原理( (局部減肉)

健全



局部減肉があると健全部の多重エコーの間に減肉部を伝搬したときのエコーが検出される。

減肉



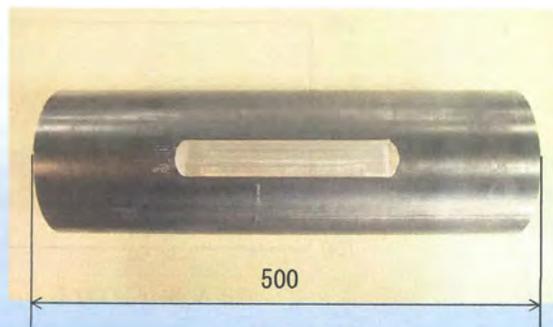
## 適用性についての検討

試験体仕様

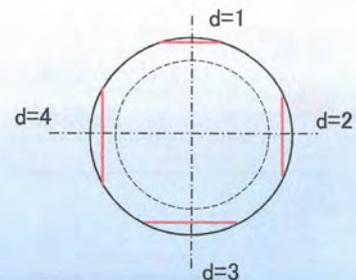
配管用炭素鋼鋼管  
 配管径: 150A Sch40 (OD: 165.2mm 厚さ: 7.1mm)  
 人工減肉: 深さ(d) 1~4mm

測定条件

使用装置: UI-25 (RYOSHO製)  
 探触子: 5K0.5"  
 音速: 3230m/s  
 屈折角: 45°, 50°, 60°, 70°



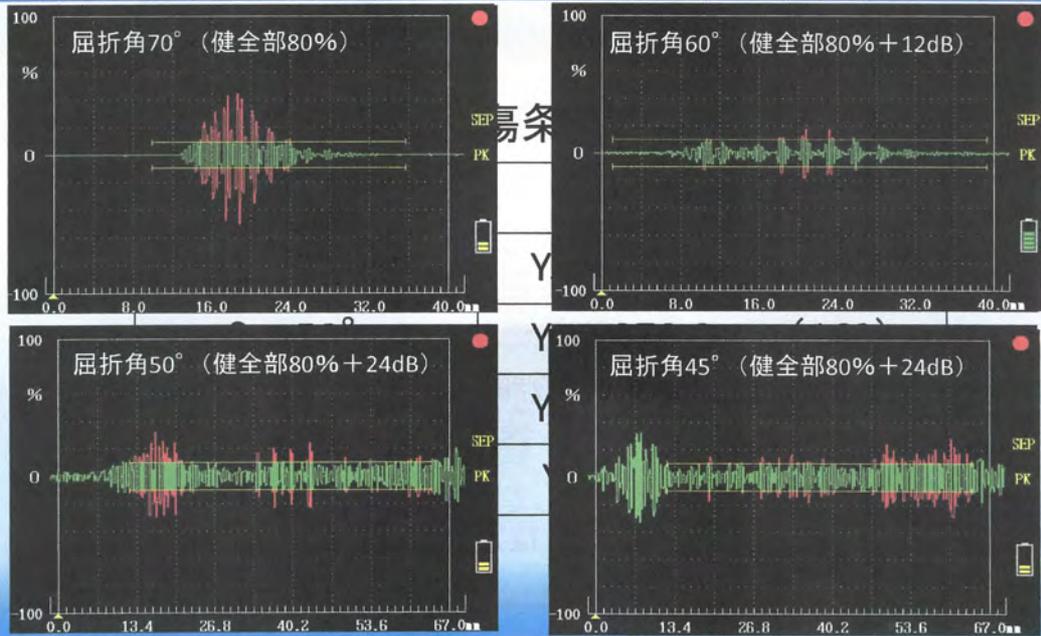
人工減肉試験体



人工減肉概要

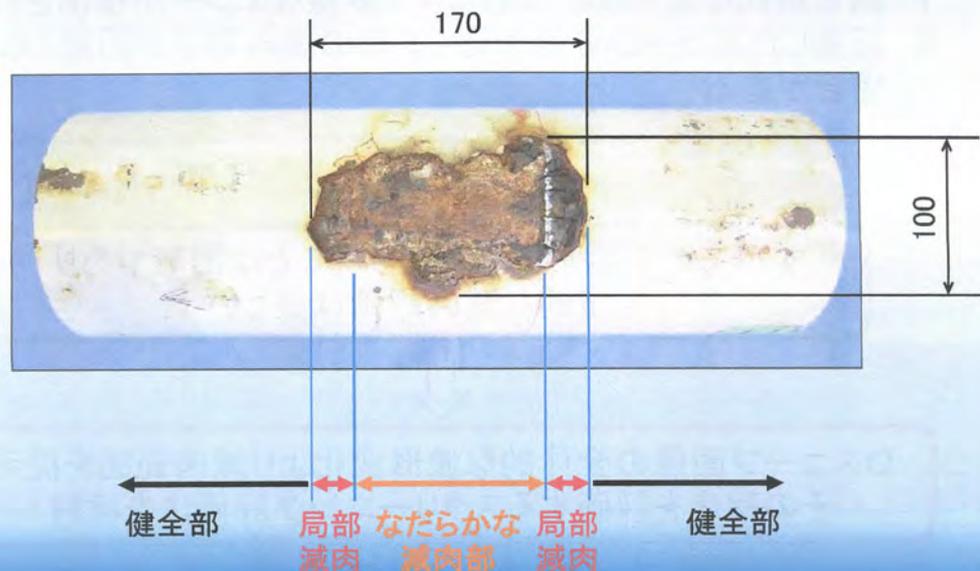
## 適用性についての検討

分解能および検出力において、屈折角70° が最も適している。



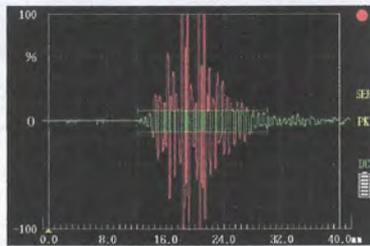
## 適用性についての検討

屈折角70° を用いて実機サンプル管を探傷

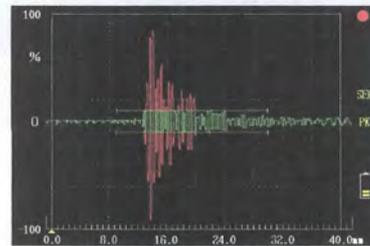


## 適用性についての検討

### 実機サンプル管探傷結果



健全部 (80%+6dB)  
77.0dB



減肉中心部  
77.0dB

- ◆実測値1.6mm(なだらか減肉の部分)に対して、測定値2.7mmの結果が得られた。(差異:1.1mm)
- ◆減肉部両サイドの局部減肉している部分の測定は波形の識別が困難となり、減肉値の推定はできなかった。

9

## 評価精度

### 課題

1. 腐食形状による散乱反射により多様なエコーが検出される
2. 近接したエコーの分離が悪く波形の読み取りが困難となる場合がある



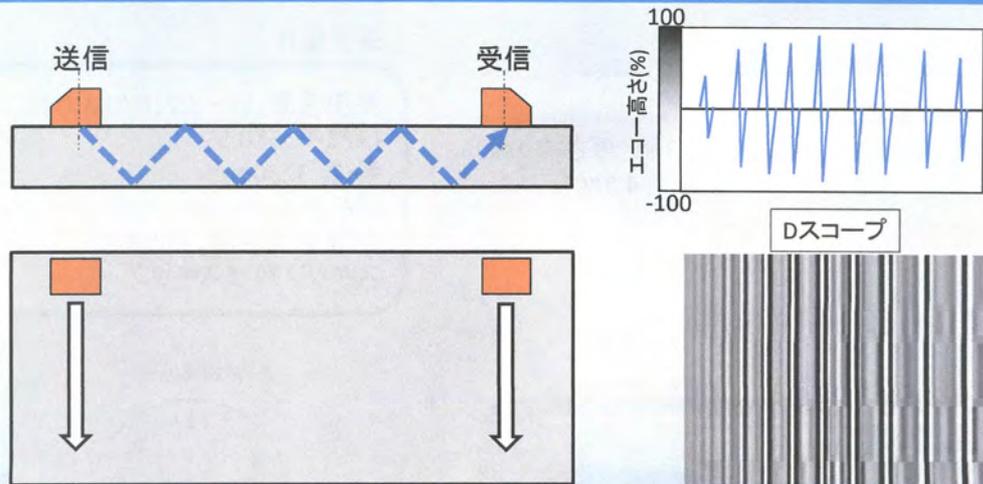
すべての腐食形状を考慮することは困難であり  
定量的な減肉評価は難しい



Dスコープ画像の全体的な波形変化より減肉範囲を捉え  
その程度を評価するスクリーニング評価法を検討

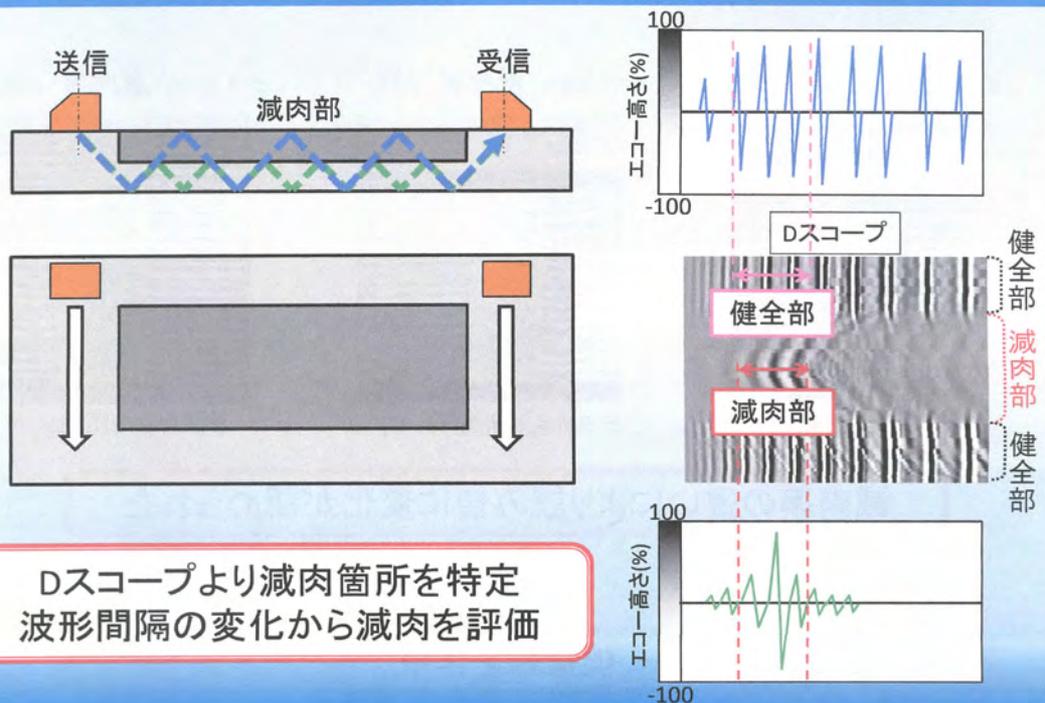
10

## Dスコープ画像による減肉評価方法



11

## Dスコープ画像による減肉評価方法



12

# 実験

## 試験体仕様

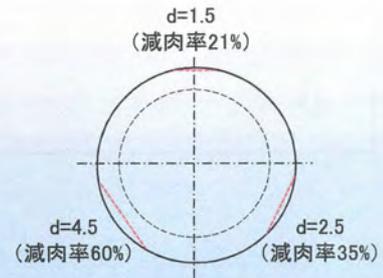
配管用炭素鋼鋼管  
配管径: 150A Sch40 (OD: 165.2mm 厚さ: 7.1mm)  
人工減肉: 深さ(d) 1.5mm、2.5mm、4.5mm



人工減肉試験体

## 測定条件

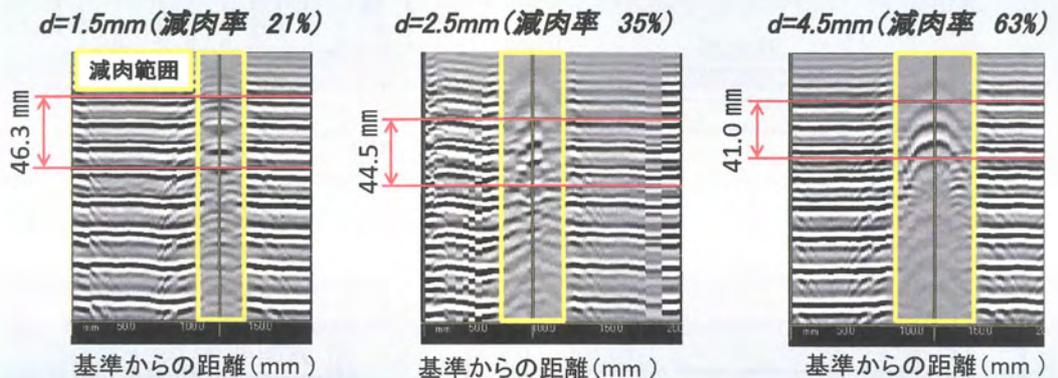
使用装置: UI-27 (RYOSHO製)  
探触子: 5K0.5"  
音速: 3230m/s  
屈折角: 70°  
探触子間距離: 292mm  
スキップ数: 8スキップ



人工減肉概要

13

# 実験



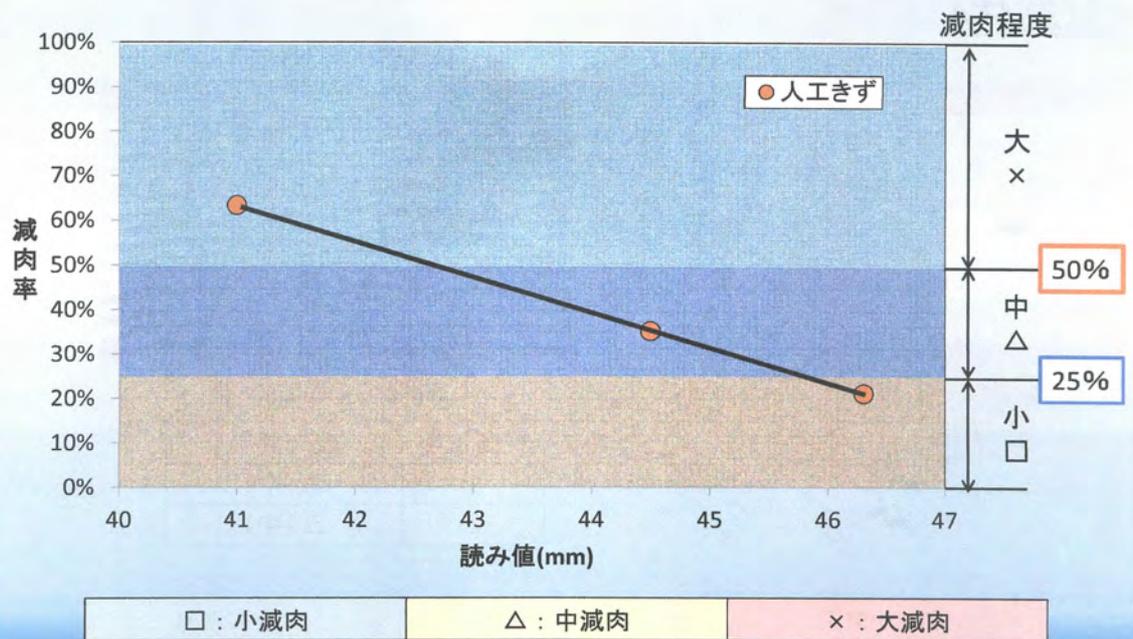
減肉率の違いにより読み値に変化が認められた



検量線を作成

14

## 検量線の作成



15

## 検証試験

### 試験体仕様

配管用炭素鋼鋼管  
 配管径: 150A Sch40  
 (OD: 165.2mm 厚さ: 7.1mm)

### 測定条件

使用装置: UI-27 (RYOSHO製)  
 探触子: 5K0.5"  
 音速: 3230m/s  
 屈折角: 70°  
 探触子間距離: 292mm  
 スキップ数: 8スキップ

試験体A



試験体B



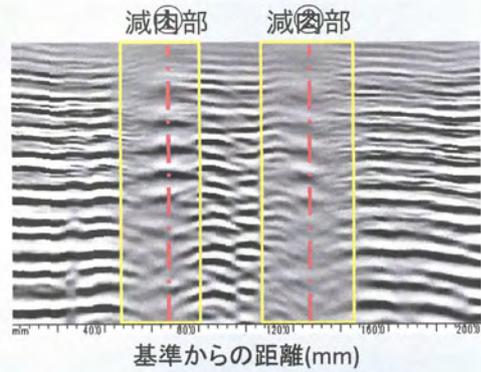
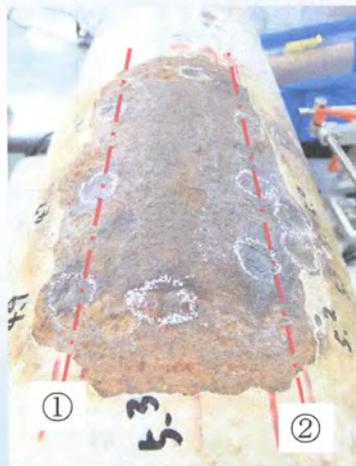
試験体C



16

# 実機サンプル管検証試験

## 試験体A



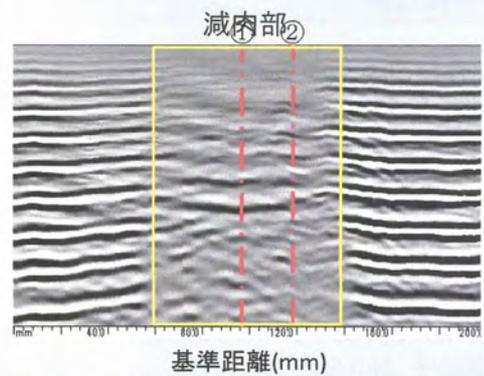
評価位置	減肉評価
①	△(中)
②	△(中)

□ : 小減肉	△ : 中減肉	× : 大減肉
---------	---------	---------

17

# 実機サンプル管検証試験

## 試験体B



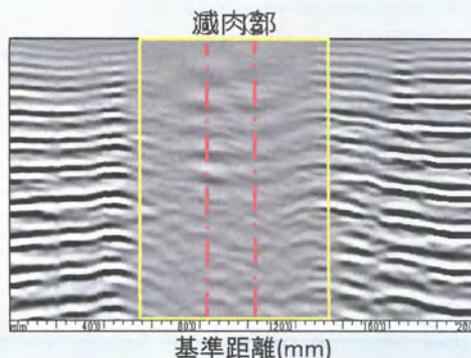
評価位置	減肉評価
①	△(中)
②	×(大)

□ : 小減肉	△ : 中減肉	× : 大減肉
---------	---------	---------

18

## 実機サンプル管検証試験

### 試験体C



評価位置	減肉評価
①	△(中)
②	△(中)

□ : 小減肉	△ : 中減肉	× : 大減肉
---------	---------	---------

19

## 実機サンプル管検証試験

試験体	評価位置	減肉評価 <sup>※1</sup>	実測減肉率 <sup>※2</sup>
A	①	△	28% ~ 42%
	②	△	28% ~ 35%
B	①	△	35% ~ 54%
	②	×	42% ~ 61%
C	①	△	42% ~ 56%
	②	△	28% ~ 42%

※1: 減肉評価基準

□: 小減肉 (減肉率 ≤ 25%)

△: 中減肉 (25% < 減肉率 ≤ 50%)

×: 大減肉 (50% < 減肉率 ≤ 100%)

※2: サーキットスキャン(連続肉厚測定)で管内面より測定

減肉評価と実測減肉率は概ね一致  
スクリーニング評価は可能

20

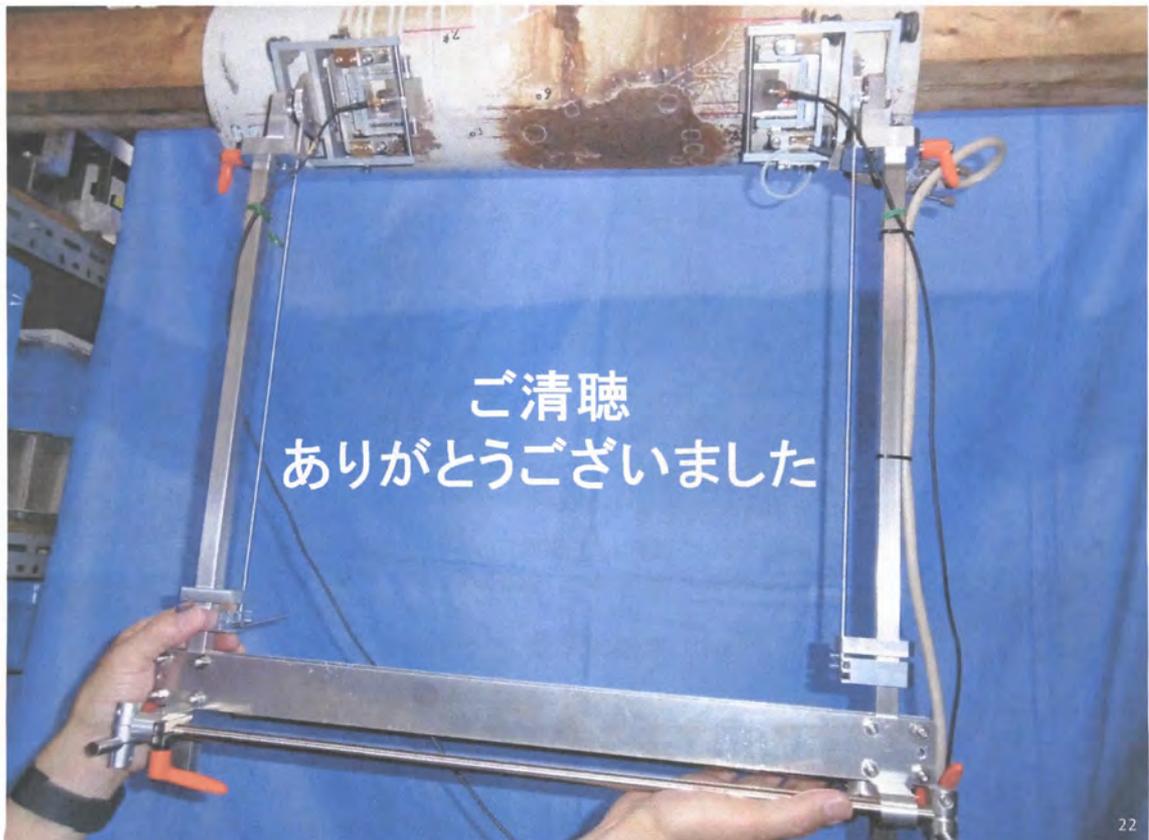
## まとめ

なだらかな減肉については、屈折角 $70^{\circ}$ の探触子が有効である。(分解能および減肉部からのエコーの識別性を考慮して探傷屈折角を選定することが必要。)

### スクリーニング評価法の検討

- ・Dスコープ画像を用いることで減肉範囲の特定が容易となった
- ・検量線を用いた減肉程度の評価が可能となった

21



22

# LEDブラックライトの現状

— ブラックライト今昔物語 —

平成29年2月21日  
千葉県非破壊検査研究会 第31回研究発表会

 栄進化学株式会社

開発技術センター 高橋 義和  
目時 修一  
渋谷 公明  
茨城工場 相村 英行

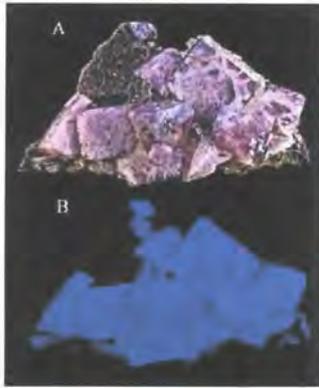
## 1. はじめに

### 蛍光 (Fluorescence) とは

定義・・・ルミネセンスのうち、電子の照射源としてエネルギーの高い短波長の光(電磁波)を照射することにより生ずる発光(ただし、発光のための電磁波を止めると、発光がすぐに消失するもの)

語源・・・蛍石(フルオライト)が太陽光の紫外線を受けて鮮やかな青い光を放つ

## 蛍光を発する鉱物



- ・ 蛍石(A)は紫外線を照射すると(B)のように蛍光を発する。

## 蛍光塗料の発明



- ・ 1930年代に蛍光塗料が発明され、第2次世界大戦では最前線のアメリカの車両に、自軍の空爆の誤爆防止マーキングに採用
- ・ 1950年代、空中衝突防止のマーキングに多用
- ・ 1959年、商業用として製品ラベルの印刷の使用開始