

# ガイド波を用いた配管腐食検査技術

## Corrosion Detection Technique using Guided Wave for Piping System

卯西 裕之 ガス技術部 開発技術室 主査  
石川 昌己 日本鋼管工事㈱ ガス配管技術部 技術管理室 室長  
大谷 靖弘 日本鋼管工事㈱ 研究開発部

Hiroyuki Unishi  
Masami Ishikawa  
Yasuhiro Otani

ガス導管における橋梁添架配管の腐食検査方法として、TWI (The Welding Institute)で開発されたガイド波を用いた配管腐食検査技術を導入した。添架配管を想定した実験や現地試験による実用化の検証を実施した。配管条件によっては計測に難易差があるが、これまで満足な検査が不可能とされていた、橋脚貫通部のような箇所診断が可能であることを明らかにした。

*Corrosion detection techniques using guided wave, developed by TWI (The Welding Institute), have been introduced for corrosion inspection on city gas pipelines. Laboratory-scale tests and field simulation tests have proved that this inspection will enable a diagnosis of pipeline inside the casing pipe, even though the accuracy varies subject to the piping conditions and the casing-filler materials.*

### 1. はじめに

ガス導管網の整備が進むにつれ、その維持管理がクローズアップされてきている。中でも橋梁に添架されている架管部に関しては対象部位の複雑さ、多様さからその点検、診断、補修には高度な総合技術、エンジニアリングノウハウが必要となる。架管部の診断ではまず、目視を中心とした点検を行い、より詳細な調査が必要とされたものについては各種検査機器による調査、診断によって補修の要否を判断する。このような点検、調査の中でも、橋脚貫通部や橋台背面の内部状況に関しては有効な検査方法がなく、周辺の状況や建設時の施工記録などから推定するのが実情であった。

この問題に対し、英国 TWI (The Welding Institute)で開発された配管腐食の長距離検査技術 (Teletest<sup>®</sup>)<sup>1)</sup> を導入し、橋梁添架配管、特に橋脚貫通部や橋台背面の腐食検査技術として検討した結果を報告する。

### 2. 技術概要

#### 2.1 ガイド波

本技術は従来の超音波探傷法とは異なり、長距離伝播性の超音波を用いることによって計測位置から数十メートルの検査を可能としている。この超音波は媒質の並列する境界面 (内外面) の影響を利用することによって得られ、特にパイプではガイド波と称している。

ガイド波には Fig.1 に示すように、管軸に対して対称に変位する Longitudinal モード (以下、L モードと略記する)、円周方向に捻れて変位する Torsional モード (以下、T モードと略記する)、非対称に変位する Flexural モード (以

下、F モードと略記する) の3種類に分類できる。

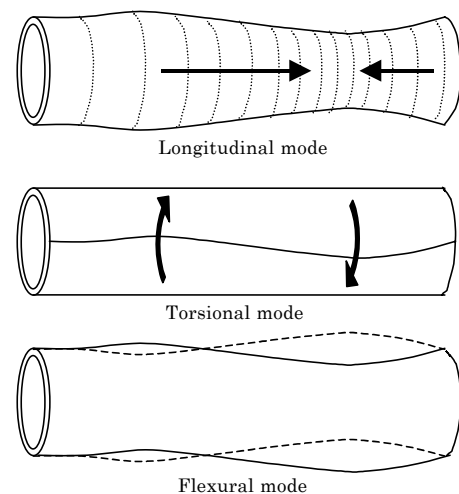


Fig.1 Wave modes propagated in pipe<sup>2)</sup>

これら L, T, F モードはおおの調和波を有することから、さらに細分される。2つのモードパラメータ  $n$  と  $m$  を用いて  $L(0, m)$ ,  $T(0, m)$ ,  $F(n, m)$  と記述される。 $(n, m = 1, 2, 3 \dots)$  モードパラメータ  $n$  は円周方向のモードを示し、モードパラメータ  $m$  は板厚方向のモードを示す。

モードパラメータ  $n$  による円周方向の変位を Fig.2、モードパラメータ  $m$  による板厚方向の変位を Fig.3 に示す。円周方向の変位において、L モードは円周方向の変位が一樣であるため  $n$  は 0 のみとなり、 $n$  が 1 以上になると F モードとなる。一方、板厚方向の変位を示すモードパラメータ  $m$  は奇数のとき、板厚の中心に対して非対称に変位し、偶数のときは対称に変位する。

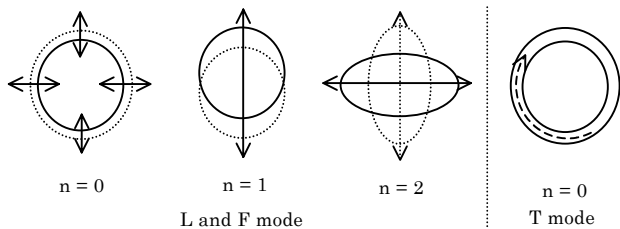


Fig.2 Circumferential motion (parameter n)

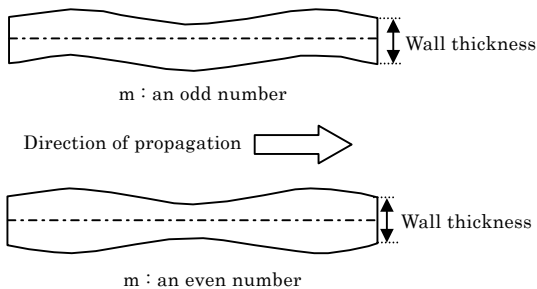


Fig.3 Motion of wall thickness (parameter m)

ガイド波で生じる反射は従来の超音波探傷法と同様な不連続部からの反射に加え、円周方向断面積の変化でも生じる。これはガイド波が並列する境界面を利用しているためであり、腐食などによって、この境界面間の距離が変化すると音響インピーダンスが変化し、反射が生じる。したがって、腐食のような断面積の減少の他に、円周溶接部のような断面積が増加した場合でも反射が生じる。

ガイド波は分散特性を有している。分散曲線の一例を Fig.4 に示す。本装置では群速度が速く、低い周波数で安定する L(0, 2), F(1, 3)モードを計測に使用している。

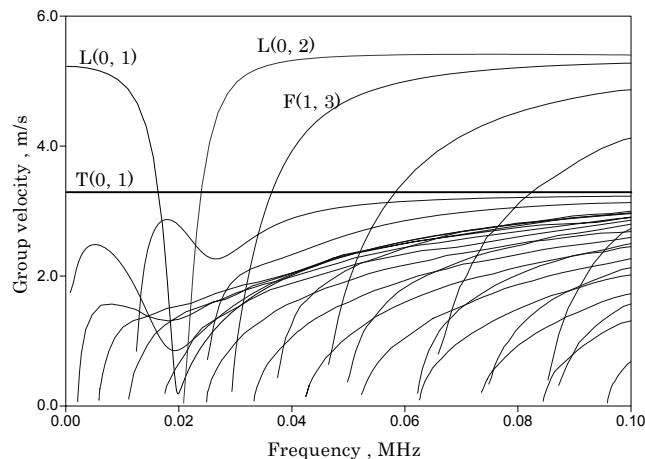


Fig.4 Dispersion curve

## 2.2 検査原理

管軸方向に伝播するガイド波はその経路上に存在する断面形状の変化が反射源となり、信号が得られる。

本装置は F モードをその変位方向で鉛直 F モード、水平 F モードに区分することにより、L モードを含めた 3 種類の信号を受信して診断を行う。反射源とこれら 3 種類の受信波形の関係を Fig.5 に示す。本装置では計測画面に 3 種類の受信波形を同時に表示して診断を行うことができる。円周溶接部や管端のように円周方向に均一な断面形状の変化が存在する場合は、L モードの信号が得られる。また、局所的な腐食のように管軸に非対称な断面形状の変化が存在する場合にはモード変換が生じ、F モードの信号が受信される。この F モードの鉛直方向成分と水平方向成分の受信状況から断面形状変化のおおよその円周方向位置を推定することができる。

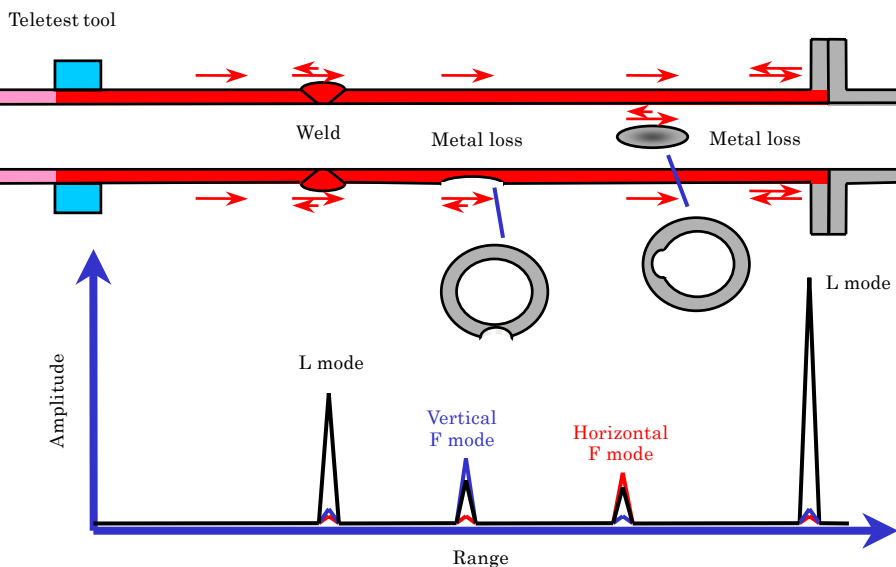


Fig.5 Schematic diagram of guided wave responses<sup>2)</sup>

### 2.3 装置 (Teletest system)

Teletest は制御解析用の PC, 探傷器本体である Teletest unit および管体に取り付け、送受信を行う Teletest tool で構成される。装置一式を Photo 1 に示す。

Teletest tool は管径ごとに用意され、100A 以下ではスプリングとねじを利用して機械的に振動子を管体に押し付ける機構を有した Fixed tool を使用する。また、100A より大きい場合は空気圧を利用して振動子を管体に押し付ける Modular tool を用いる。なお、接触媒質は使用しない。

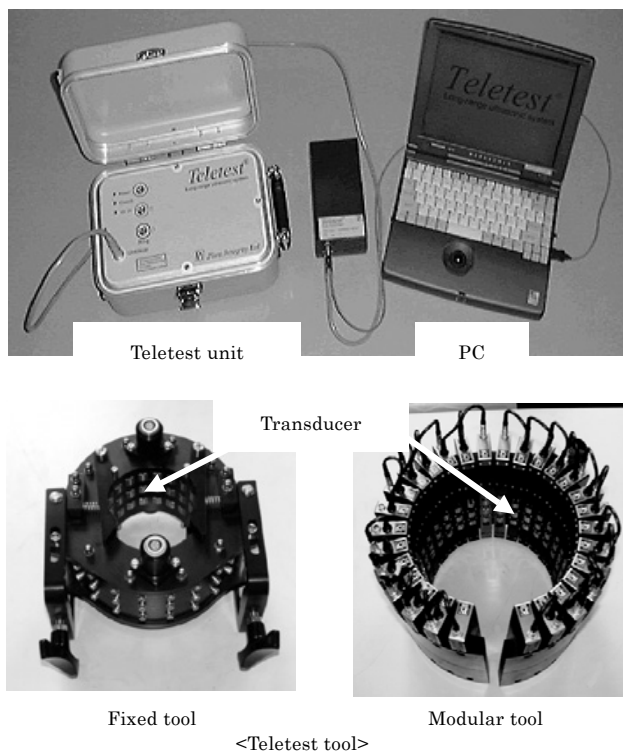


Photo 1 Teletest system

## 3. ガス導管適用の検討

橋梁添架配管への適用を検討するために、基本的な計測能力や架管の管路条件を想定した実験、現地での試験適用を実施した。

### 3.1 計測能力

配管用炭素鋼管 (SGP 管) に腐食を想定した人工傷を施し、受信信号との管径を検証した。人工傷の円周方向の断面欠損率と信号振幅値の関係を Fig.6 に示す。

反射源から得られる信号振幅値は基本的に反射源の断面形状の変化、つまり、円周方向の断面積の変化率と相関関係にある。したがって、診断は断面欠損率で評価することとなり、腐食の深さを測定することはできない。試験体での実験では断面欠損率が 3% あれば識別が可能であった。

しかしながら、実際の配管では後述する管路条件の影響を受けるため、必ずしも断面欠損率 3% の検出能力を発揮できるとは限らない。貫通部のような条件の場合、確実に検出するには断面欠損率 9% 程度必要なケースもある。

また、反射源形状と信号振幅値の関係も検証を行った。断面欠損率が同じ場合、反射源の深さが深いほど反射信号が高くなる傾向が得られたが、明瞭な相関関係を見出すには至らなかった。

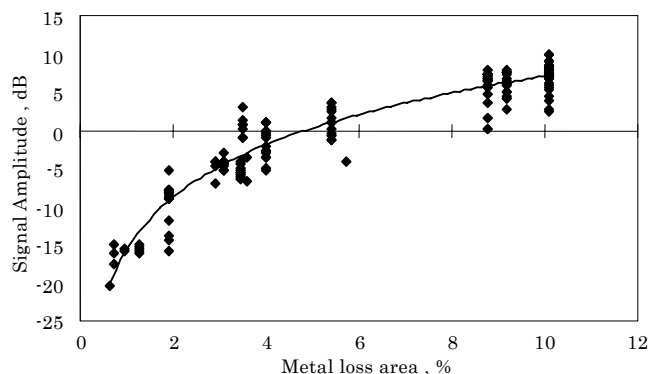


Fig.6 Relationship between flaw area, as a proportion of the pipe wall cross-section, and signal amplitude

### 3.2 管路条件の影響

#### 3.2.1 塗装・塗覆装の影響

塗装・塗覆装が計測に及ぼす主たる影響は減衰である。これにより計測可能な距離が左右される。また、塗装・塗覆装の密着状態に起因すると思われるノイズ信号もその種類によって、差が認められた。以下に代表的な塗装・塗覆装が及ぼす影響について記すが、実際の計測では、施工状態、塗装・塗覆装品質の劣化によって生じる誤差や他の管路条件が及ぼす影響があることを考慮する必要がある。よって、ここで記す各塗装・塗覆装の計測距離はあくまでも目安と考えるべきである。

##### (1) タールエポキシ塗装

塗膜厚は 300  $\mu\text{m}$  程度であるが、送受信器を塗膜上にセットしても計測が可能であった。橋梁添架部のように管体に対する特別な拘束がない状態の直管であれば 50m 以上の計測も可能である。

##### (2) ポリエチレン被覆 (PLP)

送受信器は被覆を剥がして鋼面にセットする必要がある。タールエポキシ塗装に比べ減衰が大きいものの、比較的ノイズレベルが低く、10m 程度なら良好な計測ができる。

##### (3) アスファルト塗装

PLP と同様に送受信器は塗覆装を剥がして鋼面にセットする必要がある。減衰が非常に大きく、計測可能な距離は 3m 程度であった。しかし、塗覆装の状態による特性の差があり、劣化が進行して密着状態が悪い場合は計測可能な距離は伸びる。

#### 3.2.2 充填材の影響

貫通部で使用される鞘管の内部には本管との空隙部に充填材を施工するケースが多い。この充填部の施工範囲は短いものの、計測時には減衰やその始端から疑似信号が発生

することを考慮する必要がある。ここでは充填材に樹脂系ゴムを使用した場合を想定した実験について記す。

試験体の概要図を Fig.7, 計測波形を Fig.8 に示す。樹脂系ゴムはある程度の減衰を引き起こすものの、施工範囲が短いことから、影響は少ない。また、充填部の始端からの反射信号もなく、診断の妨げにはならなかった。

一方、充填材としてモルタルやアスファルトが使用されている場合は、減衰が激しく、充填部始端で大きな反射信号が生じることが確認できた。この場合、内部状況の診断は困難である。しかしながら、実際の配管では充填材の劣化などにより、充填材と本管の密着状態が不良なケースもあり、影響が小さくなり、計測可能な場合がある。

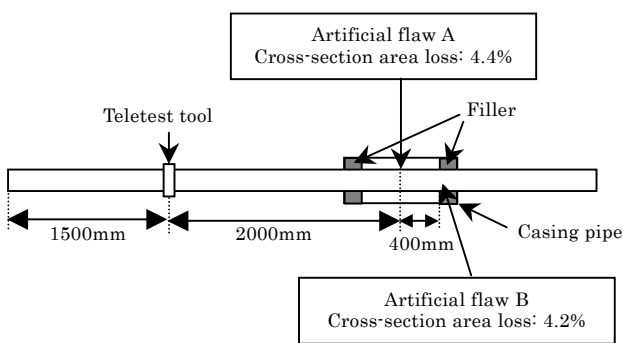


Fig.7 Test piece inserted into casing pipe with filler

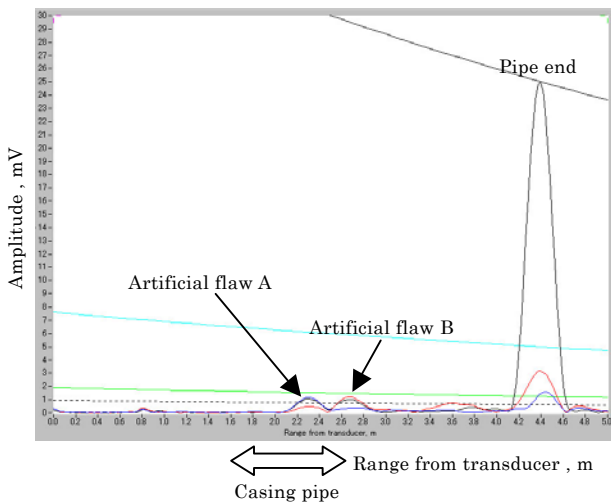


Fig.8 Result from test piece inserted into casing pipe with filler

### 3.2.3 異形管の影響

ガイド波は伝播対象とするパイプの関係や板厚に応じた条件を設定して発振している。したがって、その伝播経路上にバンド、分岐、管径の変化などが存在すれば反射や波動の乱れ、エネルギー損失が生じ、計測に影響を及ぼす。

配管に用いられる代表的な異形管について検討した結果を簡単に述べる。

### (1) エルボ

エルボを通過する際のガイド波の挙動を Fig.9 に示す。エルボは外側と内側の伝播距離差によって、波面が歪むため、エネルギー損失やノイズ、疑似信号の発生を引き起こす。また、この波面の歪みによって、エルボ通過後はそのバンド方向の F モード信号が発生しやすくなる。鉛直方向にバンドした試験体での計測波形例を Fig.10 に示す。エルボ両端の円周溶接部からの信号が得られているが、エコー高さが落ちてきていること、遠方の溶接部で鉛直 F モードが発生していることが確認できる。これまでの実験結果から、通常、2 箇所以上通過すると計測は困難となる。

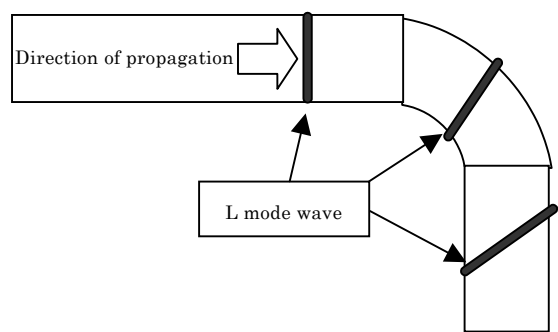


Fig.9 Distortion of the signal through the elbow

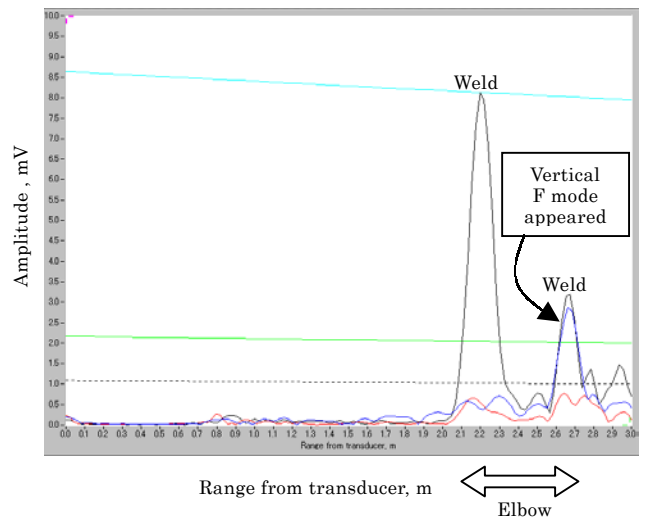


Fig.10 Through the elbow in A-scan

### (2) チーズ

分岐部を通過することにより、波動の乱れやノイズ、疑似信号が発生する。波動が分岐部を通過することは確認できるが、その計測能力は著しく低下する。特に分岐が存在する円周方向位置に応じた F モードが大きく発生し、分岐部通過後は F モード信号による診断が困難になる。

(3) レジューサ

管径や板厚が異なるため波動発振時の条件が適合しなくなる。したがって、波動伝播は可能なものの、ノイズや疑似信号が発生してしまい、計測能力は著しく低下する。

4. 実配管への適用

ガイド波の特性上、本装置では腐食深さの計測はできない。したがって、精密な調査を実施する箇所を選別する一次診断技術としての適用が有効と考えられる。これまで述べてきたように、ガイド波はさまざまな配管条件の影響を受けるため、適用箇所が制限される。しかしながら、検査員が近づくことのできない橋梁添架配管や橋脚などの貫通部の診断を比較的容易に実施できるのであるから、これまでにない有効な手法とすることができる。

Fig.11 に適用イメージを示す。貫通部以外でもパイプサポート部、橋梁横桁部のような目視が困難で腐食が発生しやすい箇所の診断にも有効である。

5. おわりに

ガス導管適用を対象としたガイド波を用いた腐食検査技術を検討し、以下のことが明らかとなった。

- (1) 受信信号値は円周方向の断面積変化率と相関し、実験室レベルでは断面欠損率 3%から検出可能であった。
- (2) 塗装・塗覆装や充填材は計測に影響を及ぼし、その種類によって、計測能力は大きく変化する。
- (3) 異形管は波動を乱し、計測能力を低下させる。

本技術は配管条件によっては計測に難易差があるが、これまで有効な検査方法がなかった箇所について有力なデータを得ることができる。

配管の維持管理にあたっては、これまでの施工年代、環境条件、周辺の状況などの情報に加えて、本技術による新たなデータを追加することによって、より高度な総合的診断が可能となる。

最後に本技術の検討にあたり、試験適用現場のご提供、多くの貴重なご意見をいただいた東京ガス(株)、大阪ガス(株)、東邦ガス(株)、広島ガス(株)の皆様には謝意を表す。

参考文献

- 1) P. J. Mudge ほか. “配管腐食の遠距離探査法”. 非破壊検査第 46 巻 5 号(1997).
- 2) P. J. Mudge et al. “A Long Range Method of Detection of Corrosion under Insulation in Process Pipe work”. The 5<sup>th</sup> European Union Hydrocarbons Symposium(1996).

<問い合わせ先>

ガス技術部 開発技術室

Tel. 045 (505) 7830 卯西 裕之

E-mail address : unishih@eng.tsurumi.nkk.co.jp

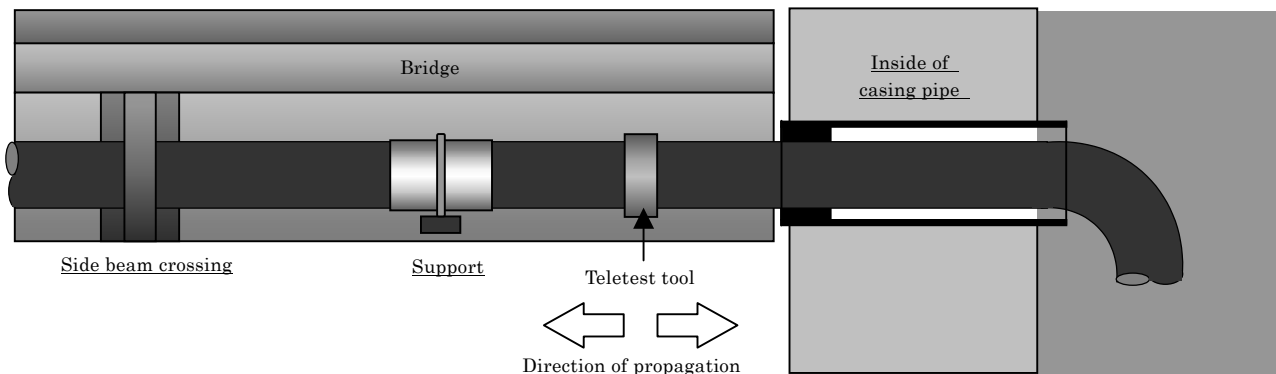


Fig.11 Example applying Teletest system