

土木建築における腐食に関する研究（その9）

——埋設配管用防食被覆材の耐衝撃性——

喜田大三 守屋正裕

Study on Corrosion in Civil Engineering and Building Construction (Part 9)

——Impact Tests for Anticorrosive Coating Materials for Underground Piping——

Daizo Kita Masahiro Moriya

Abstract

Underground piping systems of facilities have often undergone severe local corrosion leading to water leakage in short time. The results of investigation indicate that corrosion stems mostly from stray electric currents and other environmental factors, but partly from damage to anticorrosive coatings due to physical impacts applied at the time of piping work. A series of impact tests, were therefore carried out on various anticorrosive coating materials to obtain their impact resistances, and the results were compared. The types of coating materials and application specifications numbered seven and twelve, respectively. The types of tests were the three of the Du Pont-type impact test, crushed stone drop test, and impact test using a concrete vibrator.

The results showed that the Du Pont-type impact test made it possible to quantitatively evaluate the impact resistances of anticorrosive coatings prepared in accordance with twelve coating specifications and that the other two types of tests made it possible to estimate the degrees of damage caused by actual impacts.

概 要

設備配管の土中埋設部において、しばしば激しい局部腐食が発生し、早期に漏水トラブルを引起している。これらの腐食要因を調査すると、迷走電流その他の特殊な環境要因の影響も大きい。施工時の物理的な衝撃によって防食被覆層が損傷し、本来の防食効果が十分発揮されていない点も無視できない。そこで、各種仕様の防食被覆材について、物理的衝撃に対する抵抗性を試験し、比較検討を行なった。供試した被覆材は7種類で、12種類の被覆仕様である。試験内容は、Du Pont式衝撃試験、砕石落下試験およびコンクリート締固め用バイブレーターによる衝撃試験の3種類である。

試験検討の結果、Du Pont式衝撃試験によって耐衝撃性を定量的に評価し、また他の2種類の試験で実際の衝撃による損傷程度を概略把握することができた。

1. まえがき

本報（その1）¹⁾で、いくつかの事例を報告したように、土中やコンクリート中に埋設された各種の設備配管において、しばしば外面からの腐食に起因した漏水等のトラブルが発生している。

その多くは、局部的な腐食で、侵食率が非常に大きく、竣工後数年で貫通している。管材は、亜鉛メッキ鋼管が多く、外面の防食には、塩化ビニルやポリエチレンをべ

ースとした粘着テープ（防食テープ）を巻いている例が一般的である。

腐食を促進している要因には、化学薬品による土の汚染、迷走電流、マクロセルの形成、バクテリアの作用等の特殊な環境条件がある。しかし、一方で、配管の防食被覆層が十分に効果を発揮していない点も無視できない。

配管に防食被覆が施されている場合、局部腐食は、被覆層の欠陥部で発生し、被覆層が健全な部位は全く腐食

していない事例が多い。また、環境条件によっては、被覆したために腐食がその欠陥部に集中し、裸で埋設するよりもかえって局部的な侵食率が大きくなることもある。

したがって、埋設管の防食被覆は、極力完璧を期す必要があり、中途半端な被覆は逆効果となる恐れがある。

一般に、被覆層に欠陥が生じる原因は、次の四つに大別できる。(1) 材質上の特性から、もともとピンホール等が避けられない。(2) 埋設後に、経年的に次第に劣化する。(3) 被覆層の施工不良。(4) 埋設時に受ける機械的な外力(衝撃)によって損傷する。これらのうち、(1)、(2)は、材質そのものの問題であり、事前にある程度予期できる。(3)は、被覆完了後に、ピンホールテスター等で検査すれば、欠陥箇所を発見し、補修することが可能である。ところが(4)については、埋設後に損傷箇所の有無を調査し、補修するということが不可能であり、腐食を誘発する原因となる確率が高い。

埋設時の被覆層の損傷を防止するためには、施工時に十分な注意を要することはもちろん、前もって被覆材の耐衝撃性を把握し、防食仕様を決定する段階で、防食性能や長期の耐久性と同時に、損傷を防止するための配慮が必要である。しかし、現状では、被覆材の耐衝撃性に関するデータが皆無に等しく、試験法も確立されていない状態である。

そこで、今回市販の防食テープを主体に、その耐衝撃性を把握する目的で若干の試験検討を行なった。本報告では、この試験方法と試験結果を紹介する。

なお、以下の試験検討内容は、LNG 地下式貯槽の建設に伴い、底部ヒータ配管の防食仕様の検討を東京本社土木設計部から依頼され、その一環として実施した。

2. 供試材料と被覆仕様

2.1. 材 料

供試した被覆材は、表-1に示す7種類である。このうち、ポリエチレン基材および塩化ビニル基材の防食テープは、埋設配管の防食被覆に多用されている。品質は、JIS Z1901に、密着性、絶縁性等が規定されている。

保護テープは、防食層の外力による損傷を防ぐために

記号	種類 材質	厚さ (mm)
a	A社, ポリエチレン基材防食テープ	0.3
b	A社, ポリエチレン基材保護テープ	0.38
c	A社, ポリエチレン基材保護テープ	0.64
d	B社, ポリエチレン基材防食テープ	0.4
e	B社, 塩化ビニル基材防食テープ	0.4
f	ポリエチレンライニング鋼管	2.2
g	ポリエチレン基材熱収縮チューブ	2.4

表-1 供試被覆材

試験体 No.	防食被覆仕様				被覆層の厚さ (mm)
	防食テープ	ラップ	保護テープ	ラップ	
1	a	13mm	—		0.3
2	a	50%	—		0.6
3	a	13mm	b	13mm	0.68
4	a	50%	b	13mm	0.98
5	a	50%	b	50%	1.36
6	a	50%	c	50%	1.88
7	d	13mm	—		0.4
8	d	50%	—		0.8
9	e	13mm	—		0.4
10	e	50%	—		0.8
11	f (ポリエチレンライニング鋼管)				2.2
12	g (熱収縮チューブ)				2.4

表-2 供試材料の被覆仕様

用いられる。

ポリエチレンライニングは、いわゆるライニング鋼管として工場製産されている。原管の外表面に、アンダーコート(粘着剤)、プラスチック防食層(ポリエチレン)、プラスチック梱包層(ポリエチレン保護層)の順でコーティングされる。昭和53年にJIS G3469「ポリエチレン被覆鋼管」として規格が制定され、ガス導管、石油パイプライン等の埋設用鋼管に広く使われている。

熱収縮チューブは、主として、ライニング鋼管のジョイント部に使われる被覆材で、加熱によって収縮し自着する。

2.2. 被覆仕様

表-2に、供試材料の被覆仕様を示す。いずれも、呼び径100A(4B)、長さ1mの鋼管に被覆し、試験体とした。試験体の外観を写真-1に示す。

3. 試験内容与方法

3.1. Du Pont 式衝撃試験

この試験は、各供試体相互の耐衝撃性を詳細に比較検討することを目的としている。

試験装置の外観を写真-2に示す。試験法は、先端が球状の撃心(鋼製)を試験体の表面に置き、所定重量のおもりを任意の高さから撃心の上に自由落下させて衝撃を加え、損傷状況を調べる。

今回の試験では、撃心径を3, 6, 9, 12mmの4種類、おもりを300, 500, 1,000gの3種類とし、おもりの落下高さを2.5cm~50cmの範囲で2.5cmピッチとした。また、同一条件でのくり返しは3回とした。

損傷状況の判定は、放電を利用したピンホールテストを用い、電圧5kVの条件で、鋼管の表面まで達する損

傷の有無を検査した。

3.2. 砕石落下試験

この試験は、配管が砕石で埋設される場合、あるいは骨材に砕石を用いたコンクリート中に埋設される場合を想定している。

方法は、試験体の上に、一定量の砕石を一定の高さから落下し、損傷状況を調べた。

試験の様子を写真-3、4に示した。用いた砕石は、径25mmで、1回の落下量は150kg、落下高さは1mである。

1回の試験ごとにピンホールテスターで損傷状況を検査し、管表面まで達する損傷がない場合は、3回までくり返した。

3.3. バイブレーター試験

LNG貯槽のヒータ配管等で、コンクリート中に埋設される場合には、コンクリート締固め用バイブレーターの衝撃を受ける。そこで、この条件を想定して、試験体をコンクリート中に埋込み、高周波バイブレーターを使って衝撃を加え、損傷状況を調べた。

使用したコンクリートの調合は次のようである。

粗骨材：25mm砕石，1120 kg/m³

細骨材：川砂，830 kg/m³

セメント：普通ポルトランド，250 kg/m³

水：スランプ16cm程度となるように調整

なお、コンクリートは、くり返して使用するために、硬化防止剤を0.1%添加した。

バイブレーターのかけ方は、試験体を直撃するように10回突き、次いで、試験体の両脇で1分間ずつ振動させ

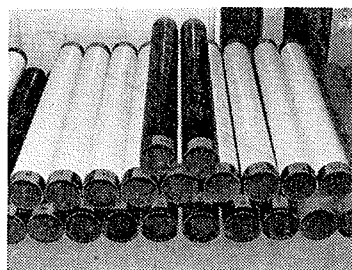


写真-1 試験体の外観

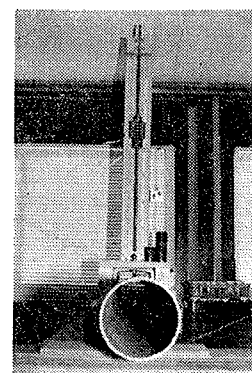


写真-2 Du Pont式衝撃試験

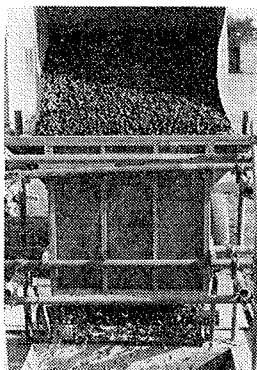


写真-3, 4 砕石落下試験

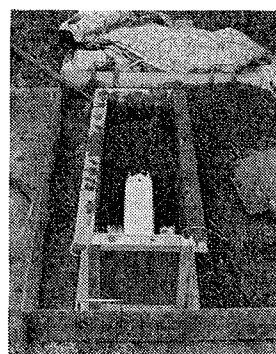


写真-5, 6 バイブレーター試験

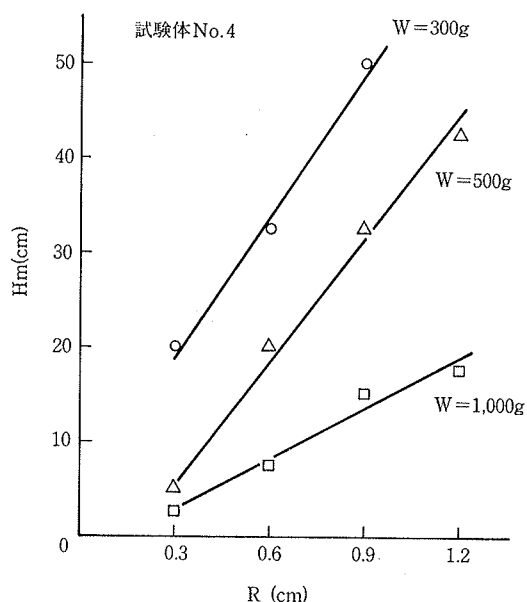


図-1 H_mとRの関係

た。損傷状況の判定は、試験体をコンクリート中から取り出し、水洗後に、ピンホールテスターによる検査と、目視による損傷形態の観察を行なった。

写真-5、6に、試験の様子を示した。

4. 試験結果と検討

4.1. Du Pont式衝撃試験の結果

耐衝撃性は図-1に例示するように、管表面まで達するピンホールが発生しない最大落下距離(H_m)と、撃心径(R)との関係を図示することによって、試験体相互の比較ができる。

ここでは、簡単にかつ定量的な数値で比較できるように、次のような検討を行なった。

まず、ピンホールの発生しない最大落下距離(H_m)と、荷重(おもりの重量, W)の積を求め、これをG_m(cm・kg)とした。G_mと撃心径(R)との関係は、図-

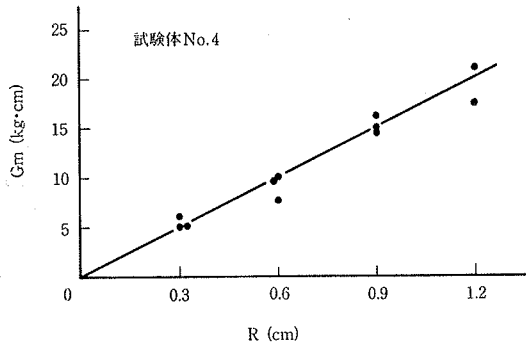


図-2 G_m と R の関係

2に例示するように、原点を通る直線で表わすことができた。この直線の勾配が、試料の耐衝撃性を表わしている。そこで、その勾配を衝撃抵抗係数(α)と定義する。式で表わすと次のようである。

$$G_m = H_m \cdot W$$

$$\alpha = G_m / R$$

$$= H_m \cdot W / R$$

G_m: 衝撃荷重に比例する係数 (cm・kg)

H_m: ピンホールの発生しない最大落下距離 (cm)

W: おもりの重量 (kg)

R: 撃心径 (cm)

α: 衝撃抵抗係数

以上の手順で、各試験体の衝撃抵抗係数(α)を求めると、この値が大きいくほど防食被覆層の耐衝撃性が高いと判定され、相互比較が容易に行える。

図-3は、各試験体の G_m と R との関係を示し、() 内に α を示している。

図-4は、被覆層の厚さ(t)とαとの関係を示している。当然ではあるが、被覆が厚いほど耐衝撃性が高くなる傾向が明確である。

4.2. 碎石落下試験の結果

試験結果を表-3に示す。上記の Du Pont 式衝撃試験の結果と対比すると、衝撃抵抗係数(α)が17以上の試験体が3回のくり返し試験にすべてパスしている。その被覆層の厚さは約1mm以上である。

全体的な印象としては、かなりきびしい試験条件にもかかわらず、予想以上に良好な結果

試験体 No.	被覆層の損傷状況		
	1回	2回	3回
1	××	-	-
2	××	-	-
3	○	○	×
4	○	○	○
5	○	○	○
6	○	○	○
7	××	-	-
8	×	××	-
9	××	-	-
10	×	××	-
11	○	○	○
12	○	○	○

○: 管表面に達するピンホールなし
 ×: わずかにピンホール発生
 ××: ピンホールの発生が多い

表-3 碎石落下試験の結果

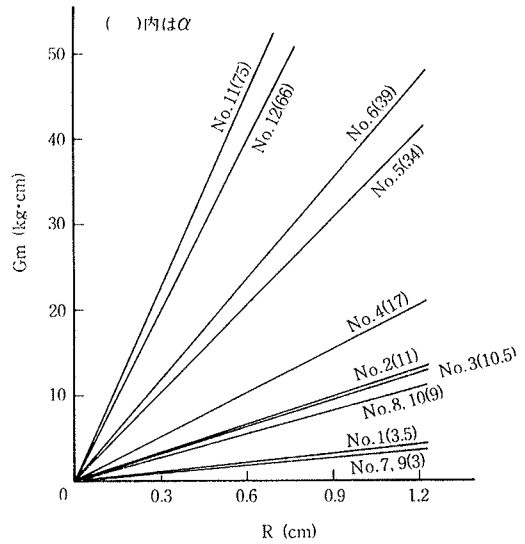


図-3 G_m と R の関係

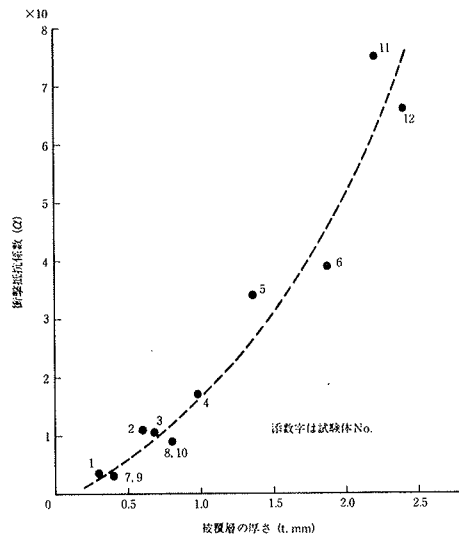


図-4 t と α の関係

であった。

ただし、一般的な仕様の、防食テープ50%ラップ1回巻(試験体 No. 2, 8, 10)程度では、ピンホールの発生が多く、この試験条件では著しく損傷した。

4.3. バイブレーター試験の結果

バイブレーターの振動による衝撃は、予想以上に損傷力が大きく、ピンホールテスターによる検査結果では、被覆厚 2.2 mm のポリエチレンライニング (No. 11) および 2.4 mm の熱収縮

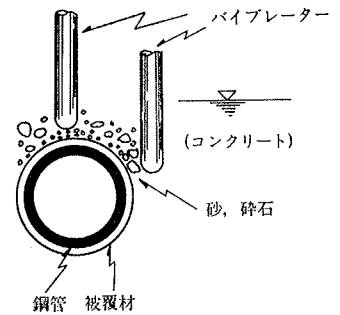


図-5 バイブレーターによる損傷形態

チューブ（No. 12）の2種類を除いて、他の試験体はすべて、管表面に達する損傷が発生した。また、当然ながら、被覆層が薄い試験体ほど損傷が著しかった。

ところで、損傷状況をよく調べたところ、管表面に達する損傷は、バイブレーターが直接被覆材に当たって生じたのではなく、図-5に模式的に示すように、バイブレターの振動による衝撃が、骨材の砕石や砂を介して被覆材に作用し、砕石の角や砂がくい込んで発生したものである。

この結果によると、バイブレターの衝撃を受けるコンクリート中の埋設管には、防食テープによる被覆が事実上不適当と判定される。

そこで、バイブレーターによる損傷の軽減法として、バイブレターの振動部にゴムカバー（厚さ5mm）を取付ける方法を考案し、再度同じ試験を行なった。その結果、表-4に示したように、被覆材の損傷はかなり軽減でき、衝撃抵抗係数（ α ）9以上の試験体がパスした。

なお、ゴムカバーを取付けたことによるコンクリート締固め効果の低下は、ほとんど無視できる程度であった。

5. まとめ

試験結果を総括的に表-4に示した。今回の試験で得られた知見を以下に列記する。

- (1) Du Pont式衝撃試験の結果を評価する際、衝撃抵抗係数（ α ）を定義することによって、材料相互の性能比較が容易となる。同時に、今後、この種の試験データを蓄積することによって、配管の埋設条件、環境条件に応じた最適な被覆仕様を選定する上で、各材料の α 値が一つの有力な指標になるものと考えられる。
- (2) 現場的な条件を想定して実施した砕石落下試験およびコンクリート中でのバイブレーター試験について、その衝撃作用と α との対応を見ると、砕石落下の衝撃は $\alpha \approx 11$ 、バイブレターの衝撃はおよそ $40 < \alpha < 66$ 、ゴムカバー付バイブレターのそれは $3 < \alpha < 9$ に相当した。
- (3) 今回の限られた試験条件の中でも、防食テープを主体に、概略の耐衝撃性を把握することができた。例えば、建物の埋設配管システムで一般的な、防食テープ50%ラップ1回巻の被覆仕様（試験体No. 2, 8, 10）では、 α が10前後と小さく、比較的わずかな衝撃で損傷し易い。
- (4) ポリエチレンライニング鋼管は、通常の防食テープ巻と比べて被覆層が厚く、耐衝撃性が非常に優れてい

試験体 No.	被覆層の厚さ (mm)	衝撃試験結果			
		Du Pont式 (α)	砕石落下	バイブレーター	バイブレーター ゴムカバー付
1	0.3	3.5	××	××	×
2	0.6	11	××	××	×
3	0.68	10.5	×	××	×
4	0.98	17	○	××	○
5	1.36	34	○	×	○
6	1.88	39	○	×	○
7	0.4	3	××	××	×
8	0.8	9	×	××	○
9	0.4	3	××	××	×
10	0.8	9	×	××	○
11	2.2	75	○	○	○
12	2.4	66	○	○	○

表-4 試験結果の総括表

た。

防食テープは、現場において手巻で被覆するが、ライニング鋼管は、工場での十分な管理下で製造される一体化被覆である。この点でもライニング鋼管は信頼性が高い。

- (5) ライニング鋼管の溶接部に使われる熱収縮チューブは、ライニング鋼管の被覆層と同等ないしはそれ以上の性能が要求される。今回供試した熱収縮チューブの耐衝撃性は、ライニング鋼管と比べて若干低いもののほぼ同等とみなすことができる。

ところで、先に述べたように、ここに報告した被覆材の試験は、LNG地下式貯槽のヒーター配管について、その防食仕様を決定するための検討過程で実施した。この試験結果を参考に、諸条件を考慮した上で、ヒーター配管の防食仕様は次のように決定した。

海水の混入した地下水中に水没する配管は、ポリエチレンライニング鋼管に電気防食（流電陽極法）を併用する。また、保護コンクリート中に埋設される曲り部の多い配管は、試験体のNo. 4に相当する被覆（厚さ0.98mm, $\alpha=17$ ）とし、保護コンクリート打設の際は、バイブレーターに厚さ5mmのゴムカバーを取付ける。

参考文献

- 1) 喜田, 守屋: 土木建築における腐食に関する研究（その1）, 大林組技術研究所報, No. 13, (1976), pp. 111~115