

腐食形状による腐食速度に関する一考察

防食・補修工法研究会 柏木達夫

1. はじめに

現代社会に於いて、我々は利便性に満ち満ちた環境の中で日々の暮らしを満喫・謳歌している。この生活環境を支えているものは、スイッチ一つの簡単な操作で供給される電気、水およびガスであることに異論はないものと思う。これらのインフラ設備は大地震、火山の大噴火および強大な台風などの異常現象が勃発すると、壊滅的な被害を受け、我々の日々の暮らしに支障もたらされることになる。この様な特殊状況に置かれて初めて、我々はインフラ設備の重要性について肌身をもって実感することになるのだが、通常はこれら電気、水およびガスなどの安全な継続供給の重要性を実感していないのが実情である。

この重要なインフラ設備の一端をなすパイプラインは、土壤中に埋設されているケースが多く、自然界の法則に則った腐食現象から逃れることはできない。腐食によりパイプラインは徐々に溶解し、その搬送流体を土中に漏洩させるというリスクを抱えている。勿論、現実にはこれらのリスクを避けるため種々の防食対策を施すことでパイプラインの腐食に対する保守管理を徹底的に実施し、安全供給が図られていることは申すまでもない。

腐食現象については、実測データを利用した理論的解析などにより多くの議論がなされてきたが、その腐食形状に着目した論議の数は多いとは言えない。そこで、腐食速度に焦点を絞り、腐食形状それぞれに応じた思考実験を実施することにより得られた結果について電気化学理論に基づく検討を加えた。以下に検討経緯の詳細を報告する。

2. 検討方法

2. 1 検討に適用する腐食速度値と経年変化に伴う算定溶解深さ

腐食速度データについては多種多様なものが発表されているが、今回の検討に当たっては歴史的且つ古典的な代表値ともいえる NBS (National Bureau of Standard) データを適用した。これらの値に基づき算定した各々の溶解深さの経年変化値を表 1 に示す。

表 1 土壤中の鉄鋼の腐食溶解深さ

経過年 (y)			0	10	20	30
溶解深さ (mm)	均一腐食	平均	0	0.2	0.4	0.6
		最大	0	0.64	1.28	1.92
	孔食	平均	0	1.5	3.0	4.5
		最大	0	4.5	9.0	13.5

2. 2 腐食溶解量の検討に適用する数値

鉄鋼の溶解に関係する数値については、様々な値が使用されているが、今回の検討には表 2 に示す値を適用する。

2. 3 溶解の形状と溶解体積

一般的に埋設パイプラインの溶解体積は、腐食に伴い形成される溶解曲面の形状に左右される。

過去に記録されている多くの溶解形状の中から、比較的生じ易いとされている半球、円錐、半楕円体に半楕円体の変形である半回転楕円体を加えた4種類に絞り、溶解曲面モデルとして検討する。

まず、各々の溶解曲面モデルの上面の長径の半分を a 、短径の半分を b および深さ方向の径を c と定義し、モデル各々の溶解体積を算定した。それらの結果を整理したものを表3に示し、これら溶解曲面形状の概観を図1に示す。

表2 鉄鋼の溶解に関する定数値

項目	単位	値
原子量	—	55.85
原子価	—	2
密度	g/cm ³	7.86
電気量	C	96485
溶解質量	g	27.9
溶解体積	cm ³	3.55

表3 溶解曲面形状に応じた溶解体積

溶解曲面形状	溶解口径条件	溶解体積 V	3次元座標式	
半球	半長径 a 半短径 b 溶解深さ c	$a=b=c$	$2\pi a^3/3$	$\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} = a$
円錐		$a=b \neq c$	$\pi a^2 c/3$	$c^2(x^2 + y^2) - a^2 z^2 = 0$
半楕円体		$a \neq b \neq c$	$2\pi abc/3$	$\sqrt{\left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2}\right)} = 1$
半回転楕円体		$a=b \neq c$	$2\pi a^2 c/3$	$\sqrt{\left(\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{a^2} + \frac{z^2}{c^2}\right)} = 1$

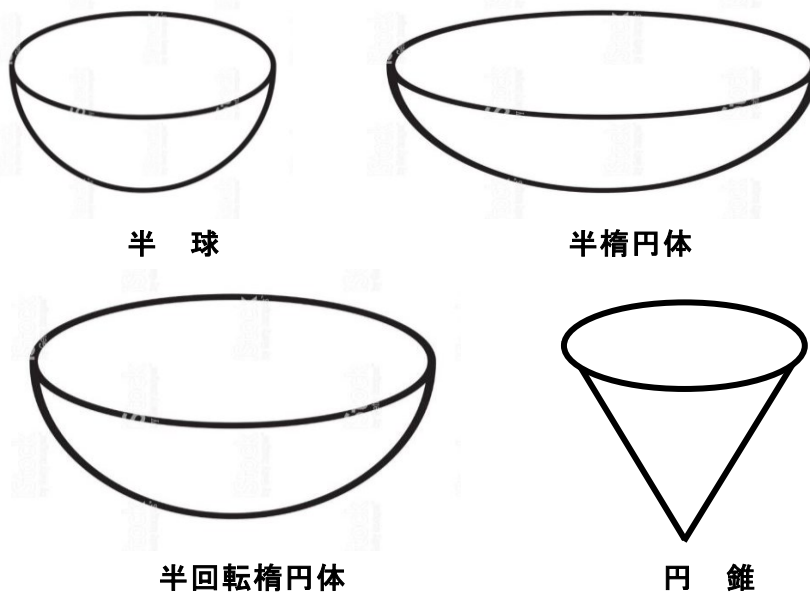


図1 溶解曲面の形状

3. 検討結果と考察

解析に当たっては、先に述べた均一腐食と孔食夫々の平均値と最大値の中から最もポピュラーな値である均一腐食の平均値を選択して解析に適用することにした。これらの値を基に3次元溶解曲面の長径と短径および溶解深さや、口径と溶解深さの比率などを変化させ、各々の形状の溶解体積を算定することにより理論的な解析を試みた。

3. 1 半球に於ける均一腐食の平均値の経過年による溶解量

理論的な検討を行うための指標値として、表1に示した4種類の中で最も平均的な値である均一腐食の平均値を使用することにした。4種類の溶解曲面の経過年変化に伴う溶解体積および溶解質量の検討を行ったが、変数が1種類で理解しやすい半球の結果を表4および図2に示す。尚、溶解体積と溶解質量の経過年に伴う変化率は全く同じため今後の算定結果は溶解体積のみを示すものとする。表4および図2に経過年に応じた溶解深さ、溶解体積および溶解質量の変化様態を示す。

表4 半球の均一腐食平均値の経過年による溶解量

経過年(y)	0	10	20	30
溶解深さ(mm)	0	0.2	0.4	0.6
溶解体積(mm ³)	0	0.017	0.134	0.452
溶解質量(mg)	0	0.132	1.054	3.556

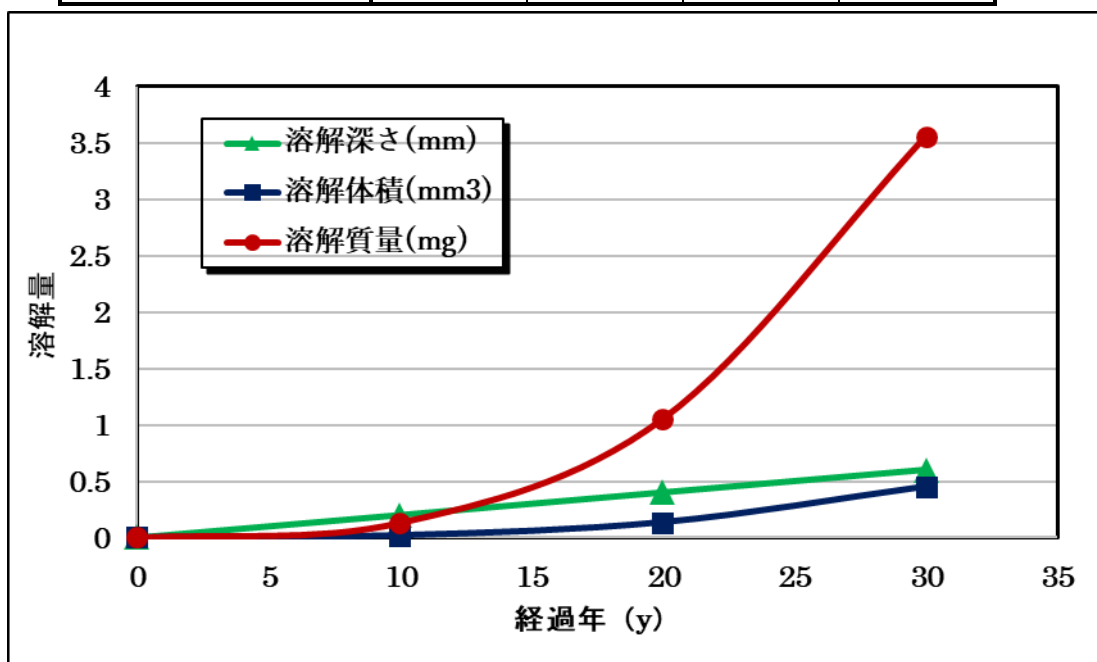


図2 半球の均一腐食平均値の経過年による溶解量

3. 2 各種溶解曲面の経過年による溶解体積

4種類の溶解曲面の経過年に伴う溶解体積および溶解質量の検討を行ったが、全ての値が同じものである半球以外の曲面は2種類や3種類の変数を有するため解析条件が多くなり、算定結果は複雑なものとなる。ここでは数多くの算定値の中から、 $a=5c$ および $2a=c$ という条件で得られた結果を代表値として各々表5と6および図3と4に示す。

表5 各種溶解曲面の経過年による溶解体積

溶解深さ (mm)	0	0.2	0.4	0.6
半球	0	0.017	0.134	0.452
円錐 $a=5c$	0	0.209	1.676	5.655
半回転楕円体 $a=5c$	0	0.419	3.351	11.31
半楕円体 $a=3b=5c$	0	0.140	1.117	3.770

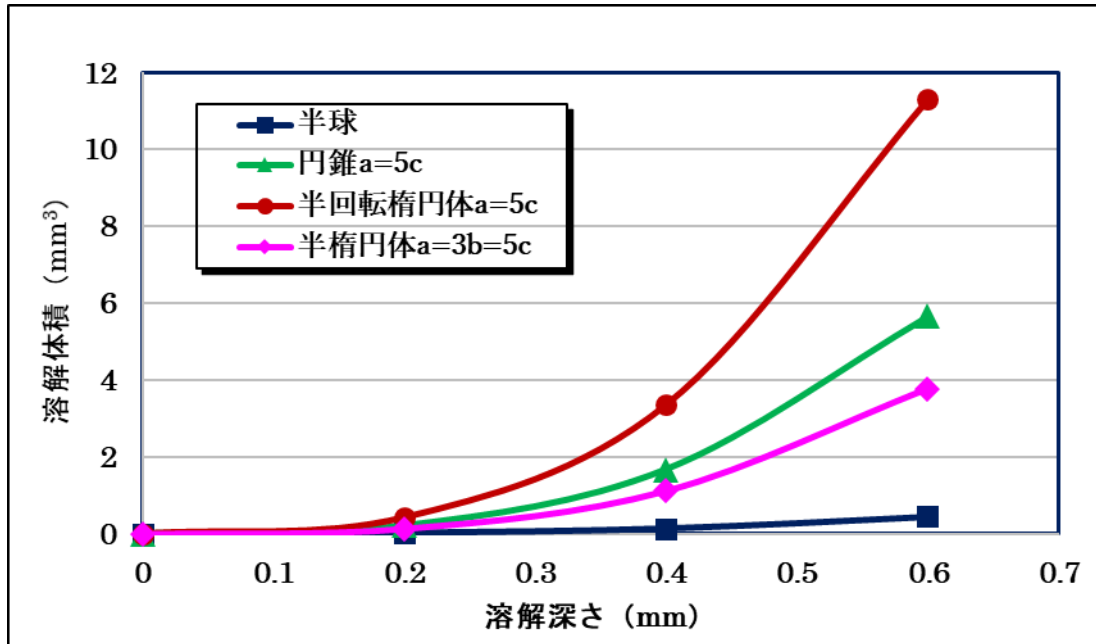


図3 各種溶解曲面の経過年による溶解体積

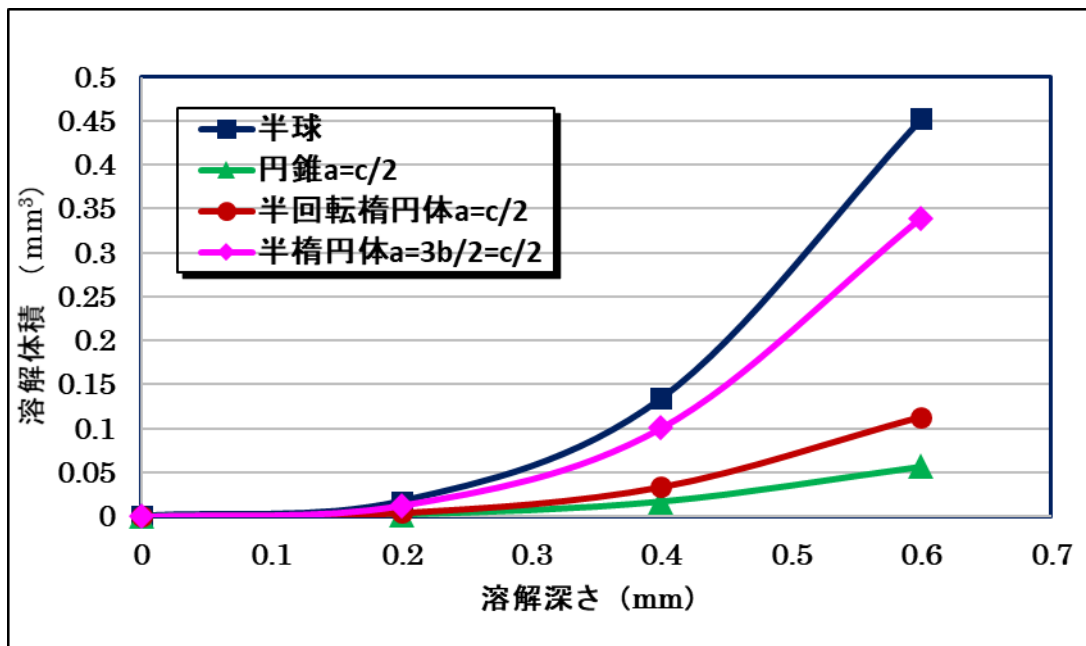


図4 各種溶解曲面の経過年による溶解体積

表6 各種溶解曲面の経過年による溶解体積

溶解深さ (mm)	0	0.2	0.4	0.6
半球	0	0.017	0.134	0.452
円錐 $2a=c$	0	0.002	0.017	0.057
半回転楕円体 $2a=c$	0	0.004	0.034	0.113
半楕円体 $2a=3b=c$	0	0.013	0.101	0.339

3.3 円錐および半楕円体の半径と溶解深さ比などの変化に応じた溶解体積

半球以外の3種類の溶解曲面の変数値に応じた溶解体積の検討を行った。代表値として円錐の結果を表7および図5に、 $a=5c$ の場合の半楕円体の結果を表8および図6に示す。

表7 円錐の a/c の値に応じた溶解体積

a/c 値		1/5	1/3	1/2	1	2	3	5
経過年 (y)	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0.000	0.001	0.002	0.008	0.034	0.075	0.209
	20	0.003	0.007	0.017	0.067	0.268	0.603	1.676
	30	0.009	0.025	0.057	0.226	0.905	2.036	5.655

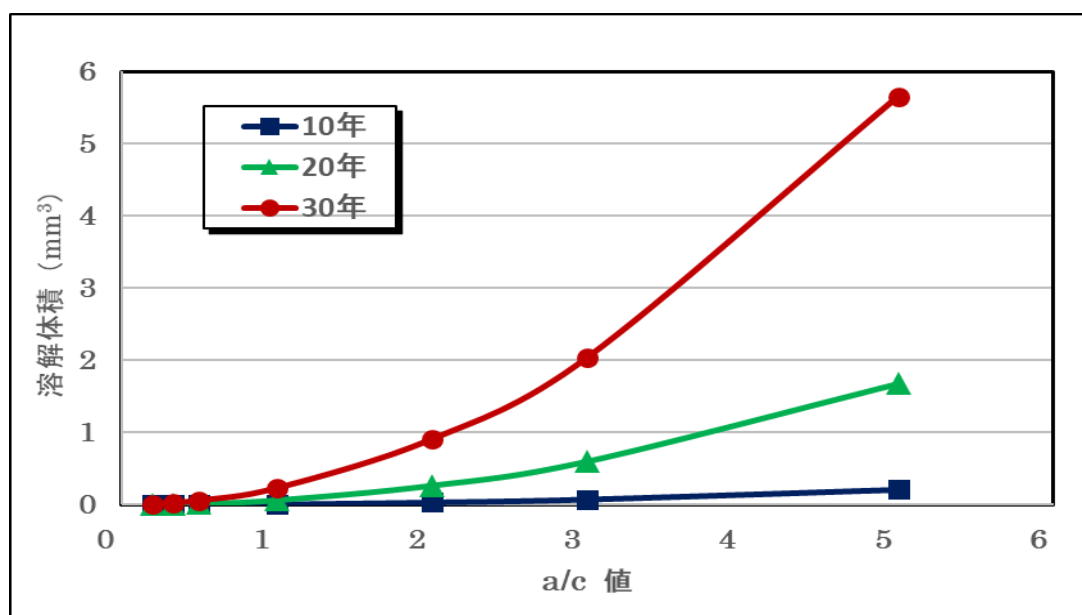


図5 円錐の a/c 変化に応じた溶解体積

表8 半楕円体の a/b の値に応じた溶解体積

a/b 値		1/5	1/3	1/2	2	3	5
経過年 (y)	0	0	0	0	0	0	0
	10	2.094	1.257	0.838	0.209	0.140	0.084
	20	16.76	10.05	6.702	1.676	1.117	0.670
	30	56.55	33.93	22.62	5.655	3.770	2.262

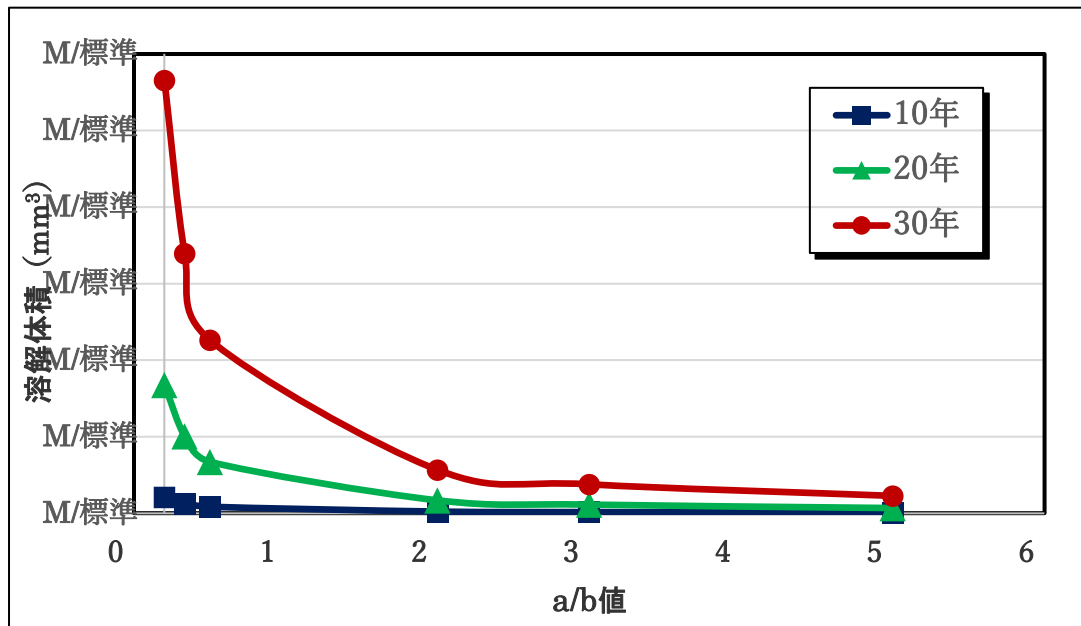


図6 半楕円体の a/b の値に応じた溶解体積

3. 4 解析・検討結果のまとめ

今般実施した解析・検討により得られた知見を以下にまとめる。

- ① 各種溶解曲面の a/c 値が整数の場合の溶解体積を比較すると、半回転楕円体で最大となり、円錐および半楕円体と続き、最大溶解体積は最小である半球の約 25 倍となった。溶解曲面の上面部の面積の寄与が大きいことが分かる。
- ② a/c 値が分数の場合の溶解体積を比較すると、整数の場合とは様相が違い、半球で最大となり、円錐で最少となった。しかし、整数の場合ほど大きな差はみられず、最大溶解体積は最小である円錐の 8 倍程度に留まった。
- ③ 円錐の溶解体積は、a/c 値の増大に伴いオイラー指数関数に沿うように増加している。
- ④ 半楕円体の場合は、変数が 3 種類あるため条件が多くなるが、a/c=5 として a/b 値を変化させると他の溶解曲面とは全く逆方向の変化を示すことが判明した。

4. まとめ

世界的に適用されている腐食速度を指標として、演繹的な観点から種々の溶解曲面を仮定し、理論的な計算に基づく解析・検討を加えることにより得られた知見をまとめた。しかし、腐食速度とは本来時間の経過とともに刻々と変化するものであり、この変化時刻に応じた微分方程式を構築し、その解に基づき帰納的な観点から議論を加え考察すべきものとする。今回は、筆者の力不足もあり、そこまで論及した議論をすることが出来なかった。更に検討を重ね、近い将来この観点に基づいた解析・検討を実施し、その考察結果を発表できるよう解析を継続する所存である。

引用文献

- 1) M. Romanoff : Underground Corrosion, NBS Circular No.579(1957)
- 2) 柏木達夫: 雷撃による電痕に関する理論検討, 第 40 回防錆防食技術発表大会予稿集 No. 110