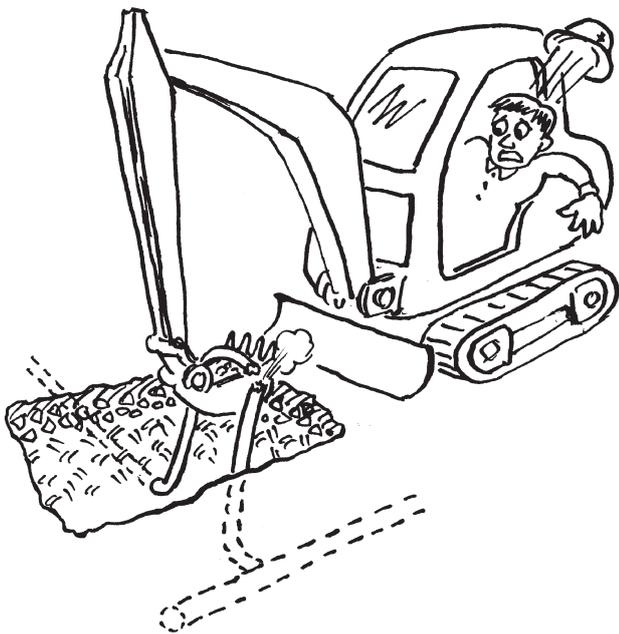


ガリレオ爺さんの手柄話

—ポリエチレン管談義—



ポリエチレン管—弱いから安全！

与太郎：大家さん。今日、仕事の現場の近くでガス工事をやってたけど、今は鉄管を使わないんですね。

大 家：圧力の高い輸送管は鋼鉄ですが、家庭用のお客さんに供給する低圧のガスにはポリエチレン管を使っていますよ。使い始めてからもう15年以上経ちますかね。

与太郎：あー、そうなんだ。知らなかったな。でも、あれって何となく頼りない感じですね。バックホーなんかで引っ掛けられたら簡単に切れちゃうでしょう？ 鶴嘴ぐらいでも穴があいちゃいそうだなあ。

大 家：そう。強度は鋼鉄の10分の1程度ですからね。家庭に配給する外径が4センチや5センチの管だったらバックホーで切れるかも知れませんね。でも鶴嘴で孔を開けるのは難しいですよ。弾力性があるし



工学博士 **西尾 宣明**
元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

見た目以上に硬いものなんです。

それはそれとして、バックホーなどで壊れるとすれば、そこがポリエチレン管のいいところなんですよ。

与太郎：ええ？すぐ壊れてガスが漏れたら危険じゃないんですか？

大 家：壊れた現場には必ず立会人がいるから安全なんですよ。ほら、壊した人が見ている前でガスが漏れるんでしょう？必ずガス会社に通報しますよね。鉄管の場合だと、バックホーの運転手はガス管かなにかを引っ掛けたことに気がきますね。でも、ガスが漏れるとすれば現場から離れた継ぎ手の部分です。それに気付かない運転手は、通報もしないで口を拭いてしまいますよ。実際、引っ込み管の継ぎ手が家の中で漏れて人が死んだり、火が点いて火事になったりしたことも昔はよくあったんですよ。

与太郎：へえー。そうなのか。たしかに、現場に立会人がいれば安心ですね。

大 家：それだけじゃないですよ。鋼管に鶴嘴やバックホーが当れば防食の皮膜などに必ず傷がつきます。何ヶ月か何年か経つとそこから腐食が進行してガス漏れが始まります。しかし、その時には犯人が誰かも分からなくなっています。

与太郎：そうか。補償金も取れないってことですね。

しかもいつどこで漏れるかも分かんないから防ぎようがないですね。

大 家：そういうことです。ポリエチレン管は弱いけれども安全だということですね。そのほかに大事なことは、まず絶対に腐らないということです。鉄管は電気防食をしっかりとしなければ、遅かれ早かれ必ず腐ります。

地震にも強い

与太郎：地震にはどうなんですか？神戸の地震の時に、ポリエチレン管は全然被害がなかったんですね。ガス会社ではこれから全面的にポリエチレン管を採用するなんて新聞で見ましたけど。

大 家：そうなんです。ポリエチレン管は地震にもとても強いですね。東京では大阪よりもかなり早くポリエチレン管を使っていたんですが、新聞などの報道では大阪が日本の先頭を切ってポリエチレン管の全面採用に踏み切るような印象を与えていましたね。そういうのが大阪商人なんですかね。

与太郎：そんなのはわたしには分かんないけど、バックホーで切れるんだったら地震のほうがもっと壊れやすいような気がするけど……。

大 家：地震のときの地盤の変形が問題です。バックホーのときのように万力で掴まれた管を無理矢理引きちぎるような形にはなりにくいと思います。断層を横切る場所とか傾斜地の崖崩れが起きたところなどの極端な場合でなければ、地震のときの地盤の変形はそれほど厳しいものじゃあないんです。

与太郎：道路にひびが入ったり地割れができたりするでしょう？ああいうのは大丈夫なんですか？

大 家：铸铁管やねじ継ぎ手の鋼管とか、大きな変位を吸収する能力のない継ぎ手を使った配管だと、道路にひびが入ったところでは大抵継ぎ手がやられていますね。水道の塩ビ管なんかも同じようなものです。硬質の塩ビ管は脆いですからね。継ぎ手でなく管の本体が壊れることも多いですが……。

道路にひびが入るということは、地震の最中には地盤が5センチや10センチ口を開いたり閉じたりしていたところですから、その動きに耐えられない継ぎ手は壊れてガスが漏れたり水が漏れたりということになりますね。

与太郎：塩ビ管もポリエチレン管も見た目は似てます



伸びる伸びる—地震に強いポリエチレン管

よね。どこで違うんですか？

大 家：この二つは大違いです。ポリエチレン管は—ガス会社が採用している種類の場合ですが—10%や20%伸縮させても力を抜けば元に戻ります。つまり弾性変形ということですね。それほど弾力性があるんです。硬質塩ビ管の場合は弾性限界は大体2%ぐらいですかね。しかも、それ以上変形させようとするればパリンと壊れてしまいます。

与太郎：普通の鋼管なんかも弾性があるんでしょう？ポリエチレン管とどのぐらい違うんですか？

大 家：鋼管の弾性限界は伸びの量にして1000分の1つまり0.1%程度です。それ以上伸び縮みすると変形は元に戻らなくなります。専門用語では塑性変形と言います。試験片を引っ張れば塑性変形の状態でも20%以上は伸びますが、実際の埋設管では応力が一番大きい部分に塑性変形が集中してしまうので、全体としてはあまり伸びないうちに管が壊れることが多いでしょうね。弾性限界を超えたら破壊すると考えるのが安全ですね。

与太郎：ふうーん。ポリエチレン管って凄いんですね。10メートルの管で10%だと1メートルも伸びるんですか。50センチや1メートルの地割れじゃへっチャラってわけだ。

でも、ポリエチレン管だって継ぎ手はあるんでしょう？

大 家：ああ。それを忘れてましたね。継ぎ手もあるにはあるんですが、全部、管同士あるいは管と継ぎ手の接合部を熱で溶かしてくっつけるんです。だから、

接合部の強さは元とおなじなんです。継ぎ手はないのと同じようなものです。

与太郎：へえー。そうなのか。じゃあ継ぎ手は心配ないんだ。

大 家：その上、ガス用のポリエチレン管は弾性範囲を超えても、引きちぎれるまでには500%や600%も伸びるんですよ。しかもガス漏れしないで……。まるでゴムですよ。

与太郎：へえー。それじゃあ地盤がよっぽどひどくこわれなきゃあ大丈夫なんだ。地震に強いわけですね。

大 家：ただ、例えば400%—ということは元の長さの5倍ということですが—そんなに伸びると管の径が元の半分ぐらいに細くなります。ほら、ゴムだって伸ばすと細くなるでしょう？

与太郎：でも、切れなきゃあ安全なんだ。

大家さんは現役のときにポリエチレン管のことも研究してたって言いましたよね。そんないい材料なのに、研究することなんてあったんですか？

ポリエチレン管のクリープ破壊

大 家：大ありだったんですよ。

1960年代からアメリカでは塩ビ管やポリエチレン管やアクリル樹脂などのプラスチック管をガス用に使う研究が始められていました。やはり、鋼管や鋳鉄管の腐食の問題に頭を痛めていたんですね。

1965年頃には有名な化学会社のデュポン社がガス用ポリエチレン管とそれを現場で施工するための工具と作業標準などを総合したシステムを開発したんです。それを使えば鋼管や鋳鉄管に比べて簡単、確実に施工できるということでアメリカのガス会社、それにヨーロッパでも急速にそのシステムを使い出したんですね。

日本でもそれに関心を持って、1970年頃から東京や大阪のガス会社が研究を始めたんです。ただ、技術的なことはアメリカの丸写しで、ポリエチレン樹脂や工具のシステムをいかに日本のメーカーに作らせるかというのが主な課題だったようですね。

与太郎：ふうーん。大家さんの研究ってそんなものだったんですか？

大 家：私が研究所に転勤したのは1972年だったんですよ。それからすぐにアメリカガス協会のプラスチック管シンポジウムに出席して、もっと大きな研究課

題があることが分かったんです。それはポリエチレン管の寿命をどうすれば確かめられるかということです。

与太郎：ポリエチレン管って腐らないし地震にも強いから寿命も長いんじゃないですか？

大 家：確かにそうなんですがね。デュポン社が作ったポリエチレン管が、埋設して5年とか10年経ってひび割れでガス漏れになることが起きていたんですね。

与太郎：ふうーん。ひび割れってどんな時に起きるんですか？

大 家：工事跡の地盤沈下などが原因と思いますが、地震のように目立った地盤の変形がなくても、継ぎ手などの断面の形が変化しているところに応力集中が生じるのが原因なんですね。ということは、全体としてはあまり大きな応力がかかっていない状態でもひび割れが起きるといことなんです。

与太郎：大きな力には強いけど小さな力に弱いっていうのは変じゃないですか？

大 家：そうですね。いろんな人が研究してましたが、現象面から追いかけるだけで、その理屈を明らかにしようという人は少なかったですね。

与太郎：大家さんはそれをやったんですね。

大 家：そうです。その頃管の寿命を推定するための実験として、デュポン社が始めた「熱間内圧クリープ試験」という試験法が広く使われていたんです。これは管に圧力を掛けたままにしておく—比較的低い圧力なんですが、長い間には管の内部に小さな傷が発生したり部分的な塑性変形が成長したりして、最後に管が破裂する—このような現象をクリープと言いますが、そのクリープ破壊するまでの時間を測定するわけです。

ところが、実際に管が使用される温度では圧力をうんと高くしないといつまでも管は壊れてくれないんです。何ヶ月どころか何年も壊れないから試験にならない。そこで温度を上げてやるわけです。以前『汗と打ち水』という話をした時に、「マクスウェル—ボルツマンの速度分布則」というのを説明したことを覚えてますか？

与太郎：元気な水の分子と元気のないのがあって、元気な分子は水同士の引力に勝って飛び出して行くってというような話でしたね。

大 家：よく覚えていましたね。

ポリエチレンというのは炭素原子が何千個も何万個も数珠つなぎになった鎖が複雑に絡み合っていて

ます。その様子は毛糸のセーターをほぐしてぐちゃぐちゃに丸めたような状態に例えられるでしょうね。その炭素原子にはそれぞれ2個ずつの水素原子がくっ付いていますが、これはこの際重要ではありません。この炭素がみんなそれぞれの場所で振動しています。その振動の仕方にもやはり元気なのと元気がないのがあるんですね。そして、元気な炭素ほど鎖の絡み合いをほぐしたり、場合によっては隣の炭素との結合力を振り切って鎖を切断したりして、全体としての強度を弱めるように、虎視眈々として狙っているわけですよ。

与太郎：まさか、炭素原子が動物みたいに周りを窺うなんて……。

大 家：もちろん例え話ですがね。それに、元気な原子はいつまでも元気ということではなくて、周囲とエネルギーを交換し合って元気になったりおとなしくなったり、一時たりとも同じ状態にはないんです。

与太郎：そうなのか。打ち水のときの水蒸気とおんなじなんですね。

大 家：そんなポリエチレンに外から力を加えると、炭素の鎖の絡み合いをほぐそうとしたり、切断しようとする力も強くなります。そこで元気な原子が暴れると管の中に小さな欠陥ができやすくなります。この内部の欠陥がじわじわと成長して、ある時突然管の厚さを貫通する大きなひび割れになってガスが漏れ出すわけです。これがクリープ破壊というもので、破壊までの時間が長いほど管の寿命は長いということになります。

与太郎：それで、温度はどうなんですか？

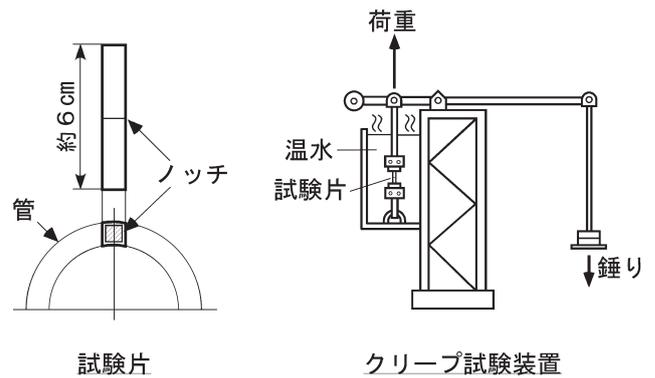
大 家：そう、温度を上げると原子の運動は激しくなります。内部欠陥の成長も早くなって、短い時間でクリープ破壊するようになります。温度と寿命の関係が分かれば、高い温度での短時間の試験から、使用状態、つまり常温での寿命を推定することができます。

与太郎：それで、大家さんの研究ってどんなことだったんですか？

「全周ノッチクリープ試験法」

大 家：内圧クリープ試験だと実際に埋設されている時に生じるような応力集中は再現できないんですね。だから、実際の条件でどれだけの寿命があるかを推定することができないんです。

私がやったのは応力と温度と寿命の関係を理論的にはっきりさせること、その上で、実際に生じる可能性の



全周ノッチクリープ試験法（試験片と試験装置）

ある応力集中を再現できる試験方法を探すことでした。

与太郎：その、内圧クリープ試験ではどうして応力集中が起こせないんですか？

大 家：内圧クリープ試験に限らず、世間で普通に使われている試験片の場合は剃刀のような鋭い刃で傷をつけたりして応力集中を起こさせるんです。専門用語では「平面応力状態」での試験ということですが、ポリエチレンのように鎖が絡まったゴムのような構造の材料では、応力が集中した場所で鎖がずるずると動き始めて、ポリエチレンの分子が伸びてしまうんですね。そうすると応力集中の効果は全然無くなってしまいます。それどころか、伸びた鎖が何本も束になって整列してしまうとポリエチレンはかえって元よりも強くなってしまいます。ほら、荷造り用のプラスチックのテープがあるでしょう？あれは炭素の鎖を真っ直ぐに引き伸ばしたものを束ねたものと考えればいいですね。あれを手で引きちぎろうとしたら手のほうが千切れてしまいます。ほとんど鋼鉄と同じぐらいに強くなります。そのかわり、テープの幅の方向に引っ張れば簡単に繊維状にほぐれます。

与太郎：そう。あれは強いんですね。それで、大家さんはどんな風にして応力集中させたんですか？

大 家：とても簡単なんです。管から切り出した断面が正方形に近い長さ6センチ程度の試験片にぐるっと一回り剃刀で切り込みを入れるんです。この切り込みをノッチと言いますが、内径5センチの管の厚さが6ミリとすれば試験片の太さも6ミリです。その周囲に深さ1ミリぐらいのノッチを入れるんです。それをいろいろな力で引っ張った状態で高い温度のお湯に漬けておくんです。

与太郎：ふうーん。ずいぶん小さな試験片なんですね。

大 家：そう。1メートル以上の長さの管をそのまま使った熱間内圧クリープ試験に比べたらとても小さいですね。試験装置もずいぶん小さくなります。

与太郎：それで、応力集中はうまく行ったんですか？

大 家：もちろんです。この試験片だとノッチの先端でのポリエチレンの流動が生じないので、応力集中効果が最後まで続きます。全周にノッチを入れることがミソなんです。専門用語を使えば、それによって「平面ひずみ状態」を作るのに成功したんですね。

与太郎：それって大家さんの新発見じゃないんですか？

大 家：残念ながら、新発見とは言えませんね。「材料力学」の一番の基礎になる応力とひずみの理論とにらめっこしているうちにそれに気がついたんです。

与太郎：でも、他の人は誰もできなかったんでしょう？

大 家：そういうことですね。それに、皆いろいろな試験方法を試していましたが、常温での寿命を推定するための理論はそっちのけなんですね。どうも、ただの品質管理のための試験法で我慢するような感じがありましたね。

与太郎：その、常温での寿命ってどうやって分かるんですか？

大 家：常温での寿命を推定するには二つの温度水準で試験することが必要です。例えば80℃と65℃といった……。その理論も私が独自に見つけたと言うよりは、ほとんど常識とも言える化学反応の温度依存性の理論に、横堀武夫博士が提唱した材料破壊学の理論—材料に応力が加えられた時に微小なクラックがどんな風に発生するかということですが—それを組み合わせれば実に良くクリープ寿命の応力依存性と温度依存性が説明できることを発見したんです。

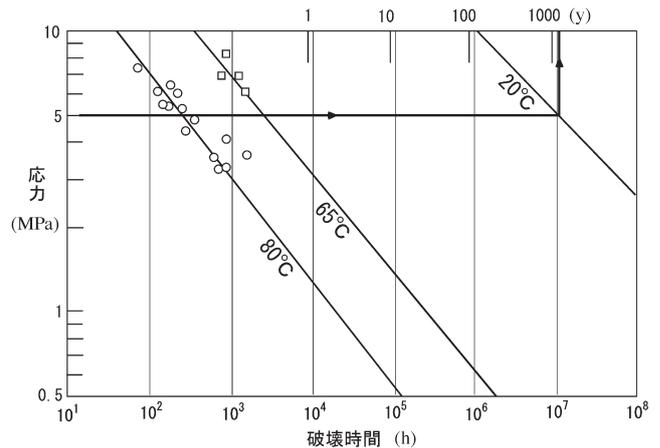
このクリープ試験法に私は「全周ノッチクリープ試験」と名前を付けました。

10年ぐらい前から欧米でもこの試験法が一番いいと報告してくれる人が出てきましたね。嬉しかったですよ。

与太郎：凄いんじゃないですか？もちろん日本でも認められたんでしょう？

大 家：ところがそうじゃないんですよ。

工法や工具を改良して工事費を節約するのが研究開発だと思っている人が多いですからね。あるときの研究室長会議で「そんな会社の儲けにつながらないような研究をなぜやるんだ」と、他の研究室長たちの面前



現用ポリエチレン管の中の一銘柄に対する全周ノッチクリープ試験データと常温での寿命推定

(5MPaの応力、しかも厳しい応力集中を受ける状況でも1000年以上の寿命を持つと推定される)

で研究所長から突っ込まれたことさえありましたよ。

与太郎：そうなんですか。何だか淋しいなあ。

ノーベル賞とおなじだなあ。日本よりも外国から先に認められることが多いんでしょう？

大 家：そうですね。とくに、基礎的な研究は日本ではなかなかお金もつきにくいですね。

与太郎：でも、大家さんの研究は役に立ったんでしょう？

ガス用ポリエチレン管の父

大 家：もちろんです。私の目標は目先の金儲けじゃなくて、どうすれば5年や10年で亀裂ができたりしない、何百年も長持ちするポリエチレン管をメーカーに作ってもらおうかということです。そのためにも信頼できる試験法を開発する必要があるというのが私の考えでした。ちなみに当時アメリカで目標にしていた寿命はたったの50年でしたよ。

私の考えにメーカーはよく協力してくれましたね。とくにM石油化学（現在M石油）の担当部長さんと研究所の若い人は私の理論を心底から信頼してくれて心強かったですよ。私の部下もそうでしたが。

与太郎：会社はあんまり協力してくれなかったんですか？

大 家：ガス導管の建設や維持管理を担当する部所の人たちも本心ではポリエチレン管を疑っていましたね。やはり弱いポリエチレンよりも強く使慣れた鋼鉄のほうが安心だという保守的な気持ちですね。「ネズミにかじられないか？」とか「ポリエチレンを

食うバクテリアがいるのではないか？」など難題を吹っかけて、何とかしてポリエチレン管の採用に踏み切らせまいという雰囲気がありましたね。

最初は東京よりも採用に積極的に見えた某社も、最後は案外慎重でしたね。

与太郎：そうなんですか。大家さんは今まで苦労なんかしたことないような顔をしてるけど、結構大変だったんですね。

大家：それでも、いくつかの現場で試験的に埋設してもらって、「弱いから安全」というような例も実際にいくつか経験されて、少しずつ拒否反応も弱くなってきましたね。

与太郎：やっぱり経験しないと分からないことが多いですからね。

大家：しかし、全く新しい材料を採用するのはガス業界にとっても大きな問題でしたから、日本ガス協会に大手のガス会社とメーカーの技術屋を集めて研究会を開きました。私が幹事長を務めたんですが、私の考え方を支援するというよりは、某社など、東京へのあからさまな対抗意識があったりするわけですよ。私が提案した試験片を使いながら荷重のかけ方を変えて、「このほうが早く結果が出る」なんて言うんです。しかし、その試験結果を実際に使われたときの寿命に結びつける理論がないんですよ。

与太郎：へえー。そんなこともねえ。大家さんもよそ目には分かんないような苦労してたんだ。

それで大家さんはどうしたんですか？

大家：ガス事業法ではJIS規格がない材料は使えないことになっているので、急いで「ガス用ポリエチレン管」の規格を作ったんですが、品質保証の基準には私の試験法をなかば強引に盛り込んで仕上げました。

これで日本でも公式にポリエチレン管が使えるようになったわけです。

与太郎：目出たし目出たしってところか。それじゃあ大家さんは「日本のポリエチレン管の母」っていうことじゃないですか。

大家：いやいや。ポリエチレン管の母は何ととってもアメリカの連中ですよ。彼らのいいところは、これは良さそうだと思うととにかくやってみるという、思い切りの良さがありますね。開拓者魂といったものがまだ残っているんでしょうか。

私は「日本のガス用ポリエチレン管の父」と言えるのかな。自分で言うのも憚られますが……。

与太郎：そんな。遠慮しなくてもいいですよ。大威張りで言って下さいよ。

大家：そうですね。私の「全周ノッチクリーブ試験法」で、500年600年以上の寿命が保証された材料を選ぶことができたという自負がありますからね。

与太郎：そうですとも、そうですとも。

大家：いやあ。今日は与太郎さんにすっかり励まされてしまいましたね。

