

# 横須賀製鉄所 1号ドライックの壁面漏水量と潮位の関係

防衛大学校 正垣孝晴・宮川真国  
 埼玉大学 渡辺邦夫  
 応用地質(株) 中條邦英

## 1. はじめに

幕末から近代日本の黎明期の明治4(1871)年に、仏人 Verny (ヴェルニー) の指導によって、横須賀製鉄所1号ドライックが開渠した。このドックは我が国最初の石造ドックとして今日でも現役使用されているが、石材の風化や渠口部の漏水が著しいことから、ドックの編年変化<sup>1)</sup>や写真測量による石材劣化<sup>2)</sup>に関する一連の検討を行っている。

本稿は渠口部の石面裏込部のボーリング孔に投入したトレーサー(自然界に存在しないアミノG)の検出によって、潮位と壁面からの漏水量の関係を検討し、裏込土の状況を推察する。

## 2. 調査方法

図-1は1号ドック渠口部の平面図を示している。ボーリングは渠口部西側の内戸と外戸当の間で壁面から1.5m(浮戸内側から1.27mの位置(●))で行なった。この位置は、壁面からの漏水が最も著しい場所の背面に対応しており、地表面を覆う石材下のベトンと原地盤である土丹層の採取も考慮して決定した。

図-2はボーリング位置を含む壁面の断面図を示している。ボーリングの掘削深度は地表から2.2mであり、ケーシング(86mm径)を地表から80cm立て込み、それ以深は66mm径のコアチューブで、ダイヤモンドビットを用いて掘削した。地表面の標高は、東京湾平均海潮面TPから+2.719mであり、壁面からの漏水量は、同じ断面図上でTP-1.841m(上部)とTP-2.941m(下部)の2箇所から、転倒マス型雨量計で連続測定した。また、壁面上下部に加え、浮戸背後の水溜め(Pond)からの採水に含まれるアミノG濃度と電気伝導率を測定した。

写真-1はボーリング孔内に設置した電気伝導率計、水位計、ポンプを示している。ポンプの下部は孔底から15cm上に設置しているので、水位計と電気伝導率は、同62cmと75cmである。アミノG溶液投

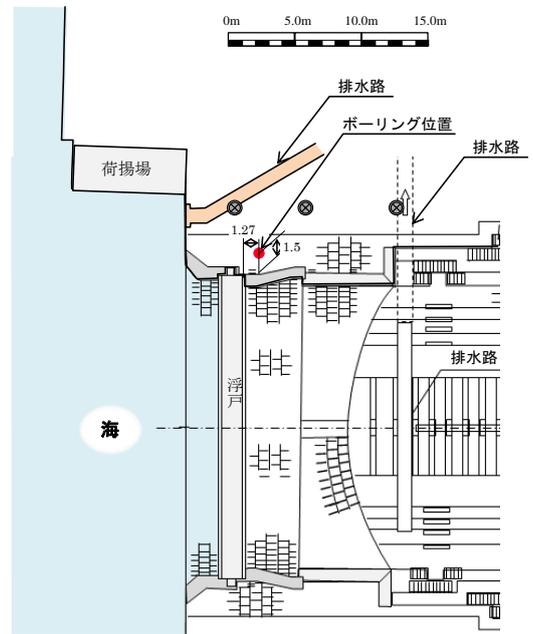


図-1 ボーリング位置図

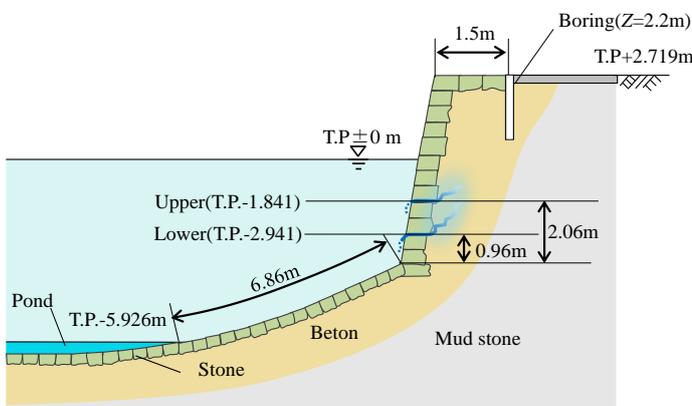


図-2 ボーリングと採水位置

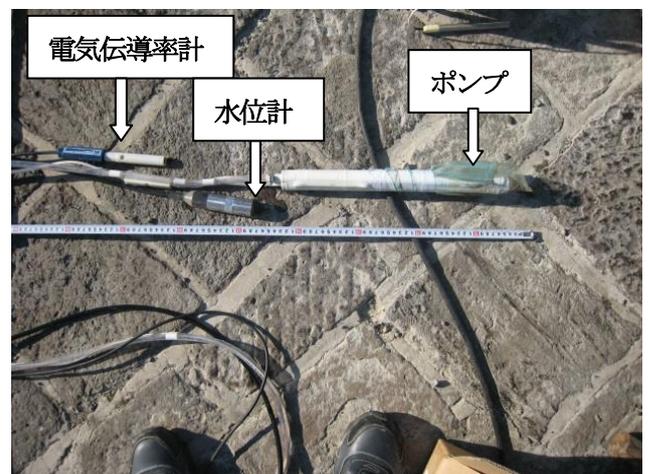


写真-1 電気伝導率計、水位計、ポンプの配置

入前の孔内水は、掘削水を地下水に置き換えている。また、電気伝導率は水質変化の指標として、アミノ G の投入時間の目安のために測定した。壁面から採取した漏水に対しても、水質変化の確認のためにアミノ G 濃度に加えて、電気伝導率も測定した。

### 3. 潮位と漏水量の関係

図-3 と 4 は漏水量と潮位の関係である。漏水量は、それぞれ図-2 に示す壁面の上部と下部から採水している。漏水量は、0~500 cm<sup>3</sup>/min の範囲で変動するが、下部の漏水量 (x) は上部のそれ (o) より大きい。また、測定日の進行により満潮位は漸減するが、これに対応して漏水量も減少し、この傾向に上下部の採水位置は依存していない。これらの図では、潮位サイクルの上と下の位置から破線を描き、漏水量と潮位のサイクルとの関係が検討できるようにしている。

上部の場合、漏水量サイクルの最大と最小値は、満潮と干潮時にほぼ対応しているが、採水位置が TP-1.841m であることから、9月27日の干潮時を除き、潮位が TP-26cm 以深に対応する漏水量は 0cc/min になっている。一方、図-4 に示す下部の場合、漏水量の最小値は干潮時にほぼ対応しているが、漏水量の最大値は満潮時から 0~120 分程度遅れている。また、干潮時でも 100 cm<sup>3</sup>/min の漏水量がある。図-3 の上部と異なる下部の挙動は、採水位置が上部より 1m 低い (TP-2.941m) ことを反映している。下部の満潮時に対する最大漏水量の時間遅れは、潮位と採水位置の標高から計算される潮汐変動に起因する石壁や背後の裏込め材中の動水勾配の変化より大きい。したがって、潮汐変動が浮戸に加わる水圧を変化させ、その結果として、石壁の目地や裏込め材が変形して、漏水量を変化させていることが推察される。1つの潮汐サイクルの中の漏水量と潮位の関係は、満潮位の TP が小さくなると上と下部のループの挙動やループ軸の勾配の差が大きくなる。図-3 の上部の漏水量と潮位の関係を見ると、満潮と干潮に向かうループは平行に近いが、干潮時の TP が -30cm から 0cm に移行すると両者は一致するようになる。ループが閉じないのは、漏水がない時間があるからである。またループの平均勾配は、満潮位が小さくなると大きくなり、単位時間当たりの漏水量が多くなることを意味する。

一方、図-4 の下部の漏水量と潮位の関係は、上部のそれとは異なっている。すなわち、漏水量が 0 cm<sup>3</sup>/min にならないことを反映して、ループが連結して閉じるに加え、ループの平均勾配は上部とは逆に小さくなり、漏水量は少なくなる。

図-5 は 50cm の潮位差に相当する平均漏水量を図-3 と図-4 の破線で示した平均勾配から求め、満潮位に対してプロットしている。9月のプロットを見ると、下部の平均漏水量は、満潮位の 30~65cm の範囲で 150 cm<sup>3</sup>/min とほぼ一定であるが、上部の場合、満潮位 33cm で 500 cm<sup>3</sup>/min の平均漏水量は潮位が高くなると漸減し、55cm で 205 cm<sup>3</sup>/min 程度に収束する。12月の30時間の測定内では、1つのループしか描けないので、プロ

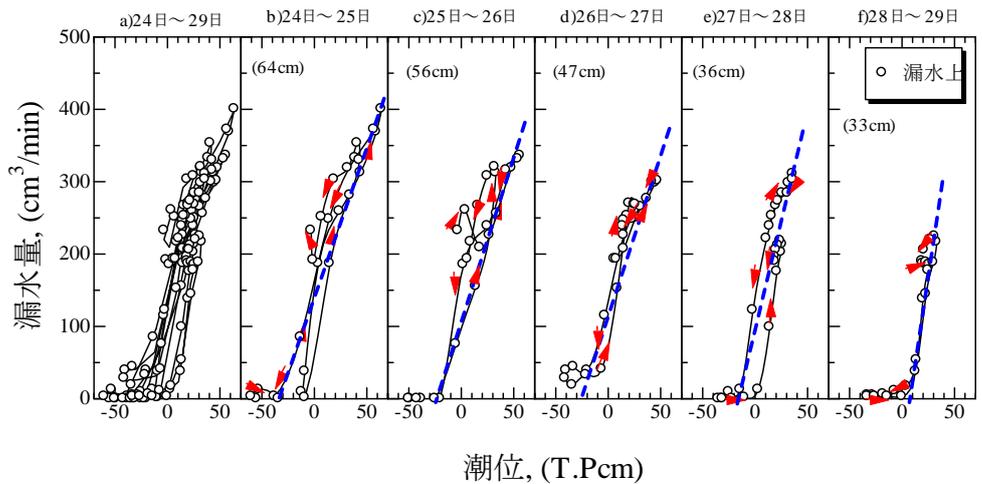


図-3 漏水量と潮位の関係 (上部)

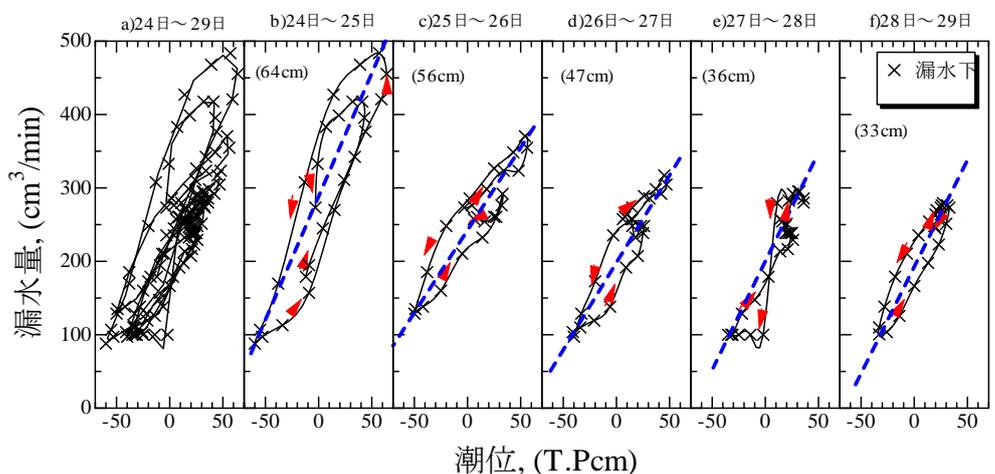


図-4 漏水量と潮位の関係 (下部)

ットは1つであり TP に対する傾向を検討することはできない。

4. 戸当背土の透水性と漏水量の関係

図-6 はアミノ G 投入 30 分後から 180 分までのアミノ G 濃度と潮位, 孔内水位, 漏水量  $Q$  をプロットしている。経過時間の  $t=0$  は写真-1 に示すポンプによる孔内水の攪拌を停止した時間である。また, 測定時間の制約から 180 分経過後は, セメントミルクによってボーリング孔内を閉塞した。図-6 に示す潮位・孔内水位と経過時間の関係を見ると, 180 分の間で潮位は TP+0.22m から TP+0.13m に漸減するが, 171 分が干潮の時間に対応している。この間の手測りによる孔内水位は TP+1.5m から TP+1.05m まで 45cm 低下して, アミノ G を含む孔内水が孔外に浸透しているが, 孔内水位は潮位より 1.3m 程度高い位置にある。 $Q$  と  $t$  の関係を見ると,  $Q \approx 230 \sim 258 \text{ cm}^3/\text{min}$  の範囲で変動するが  $t > 100$  分の領域で上部の漏水量は時間の進行によって小さくなり, 逆に下部は大きくなっている。ポンプによる孔内水の攪拌停止後, 30 分で電気伝導率  $\chi$  は  $38.2 \text{ mS/m}$  の一定値に達したのでアミノ G を孔内に投入した。 $\chi$  の測定精度は  $0.05 \text{ mS/m}$  である。

アミノ G 投入時 ( $t=30$  分) に壁面から採水したアミノ G 濃度は  $0 \text{ mg/L}$  であるが, 投入 15 分後には  $0.0027 \sim 0.0028 \text{ mg/L}$  の値に達し, 孔内水位の低下とともにこの値は漸増している。なお, アミノ G の定量下限値は  $0.0005 \text{ mg/L}$  である。上部 (o) と下部 (x) のプロットを, それぞれ実線と破線で結んでいるが, 経過時間に対するアミノ G 濃度の漸増は, 孔内水位の低下 (約 45cm) による孔内のアミノ G を含む溶液が供給源であることは間違いない。

上部のアミノ G 濃度が  $0.0005 \text{ mg/L}$  程度 ( $t \approx 100$  分) 大きいが, その後両者の差は小さくなる。上下部のアミノ G 濃度は, 測定時期の進行によって漸増している傾向が読み取れるが,  $t > 100$  分の漏水量の変化に対応したアミノ G 濃度との関係は明らかでない。

図-7 は潮位, 漏水量, アミノ G 濃度, 電気伝導率を時間に対してプロットしている。測定期間は 9 月 27 日から 29 日の 3 日間と 12 月 10 日から 11 日の 2 日間である。9 月 28 日の 6 時頃 (干潮時) の漏水量 (上部) は  $0 \text{ cm}^3/\text{min}$  であり, 採水できていないことからアミノ G 濃度の測定値もない。また, アミノ G 濃度測定時のプロットに縦の細線を描いて, 潮位と漏水量の変化との対応性を考察する。

漏水量の時間変化は潮位と対応しているが, 漏水量の最大と最小値は, 潮位の日サイクルの満潮と干潮時から上部で最大 77 分, 下部で 135 分遅れている。また, 28 日以降の上部のアミノ G 濃度は, 下部より  $0.0005 \text{ mg/L}$  程度高く, これらの値の変動は潮位と漏水量のそれらに対応している。したがって, これらの挙動は, 潮位変動に起因する浮戸への海水圧 (動水勾配) が漏水量とアミノ G 濃度に直接影響を及ぼしていると解釈される。

浮戸外側の海水, ボーリング孔, 壁面の採水位置とドック背面の地盤構成 (石材, ベトン, 土丹) とそれらの透水係

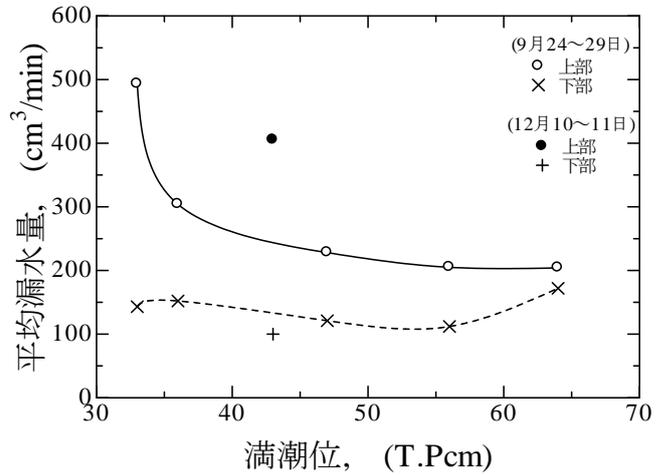


図-5 平均漏水量と満潮位の関係 (上下部)

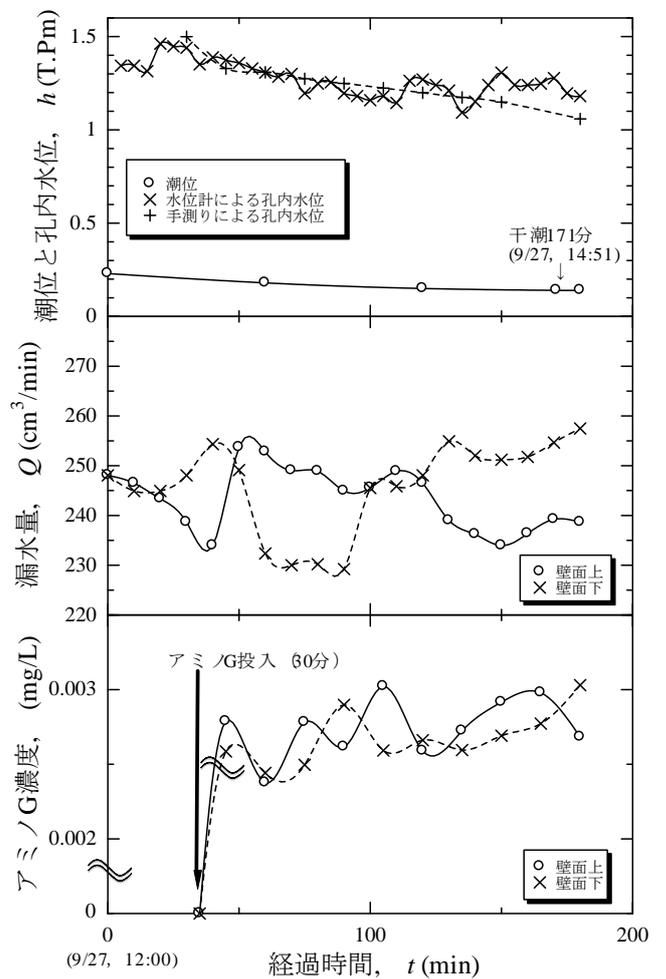


図-6 潮位・孔内水位・漏水量・アミノ G 濃度と経過時間の関係

数を考えると、海と採水位置を通る有力なパイピング経路の存在の可能性は小さい。また、上部のアミノ G 濃度が高いのは、供給源に近いことに起因しており、これらの漏水の地盤内経路が異なっていると推察される。以上のことから、アミノ G は圧力伝搬を中心として浸透していると推察される。

9月29日と30日のアミノ G 濃度の測定は、壁面に加え、浮戸裏面の水溜めの壁面側に近い中央部から得た採水に対しても行った。壁面からの漏水は、外戸当と内戸当の全面に及んでいる。水溜めのアミノ G 濃度は、0.0042~0.0043mg/L と高い。海水圧に起因する背面地盤の透水性の評価と壁面の石材目地への変形等の影響の検討は、水溜めのアミノ G 濃度が高い理由を含め、今後の課題である。

12月の満潮位は、9月のそれより 10cm 程度高いが、潮位と漏水量の関係は、9月のそれらと同様である。12月の壁面からのアミノ G 濃度は 0~0.0005mg/L と小さく、検出精度の上限以下でありアミノ G は検出されていないことから、裏込部にアミノ G は残留していないと推察される。しかし、水溜めのアミノ G 濃度は、0.002~0.0048mg/L と高い。この理由は、12月の $\chi$ が2,200mS/m程度と9月の3,200mS/mの値より小さいことを含めて今後の検討課題である。なお、アミノ G の英語表記は、Monopotassium 7-Amino-1,3-naphthalenedisulfonate Hydrate である。

5. おわりに

本稿の主要な結論は、以下のように要約される。

- 1) 漏水量の時間変化は潮位と対応しているが、漏水量の最大と最小値は、潮位の日サイクルの満潮と干潮時から上部で最大 77 分、下部で 135 分遅れていた。上下部のアミノ G 濃度の変動は潮位と漏水量のそれらに対応していた。これらの挙動は、潮位変動に起因する浮戸への海水圧（動水勾配）が漏水量とアミノ G 濃度に直接影響を及ぼしていると解釈された。
- 2) 海と採水位置を通る有力なパイピング経路の存在の可能性は小さい。また、上部のアミノ G 濃度が高いのは、供給源に近いことに起因しており、これらの漏水の地盤内経路が異なっていると推察された。アミノ G は圧力伝搬を中心に浸透していると推察された

本研究は、公益信託大成建設自然・歴史環境基金の助成を用いて、土木史跡委員会の活動の一環として行った。現地調査にご協力頂いた米海軍横須賀基地と同基金の関係各位に深甚の謝意を表す。

参考文献

1) 正垣孝晴・宮川真国・藤井幸泰・菊地勝広・西澤泰彦：横須賀造船所1号ドライドックの編年変化，地盤工学会関東支部発表，2013。 2) 正垣孝晴・宮川真国・藤井幸泰・菊地勝広：横須賀製鉄所1号ドライドックの石材侵食量と強度の関係，土木学会関東支部発表，2014。

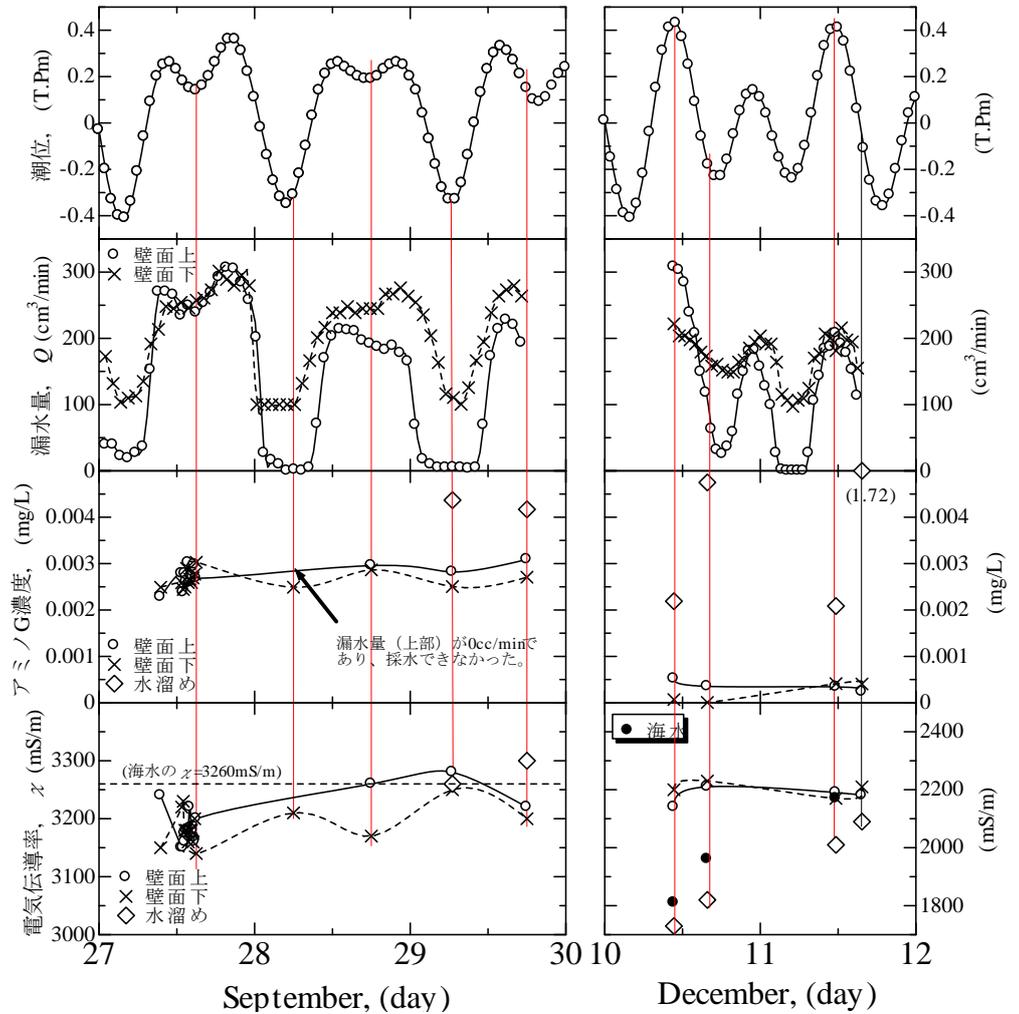


図-7 潮位・漏水量・アミノ G 濃度・電気伝導率と経過期間の関係 (9, 12月)