

数値解析による浮き型矢板の効果予測と 鋼矢板の漏油防止措置及び耐久性に関する検討資料

1. 目的

主として油の拡散防止のために設けることとした囲い込み工（浮き型矢板）について、拡散防止効果を検証することを目的とした数値解析を実施した。解析は断面 2 次元浸透流解析とした。

浮き型矢板は、不透水層まで矢板が達しておらず、矢板の下に透水性が高い一連の砂礫が連続するため、矢板内外において、地下水位の差は基本的に発生しないという点で有利であるが、矢板の下端から矢板内の地下水が流出するおそれがあるため、矢板設置に伴う矢板内地下水の流向状況を予測した。

2. 前提条件

2.1. 矢板の根入れ深度

浮き型矢板の設置深度は、油の移動・拡散防止機能を確保するために、油膜判定による汚染範囲下端より 1.0m 深い範囲と設定されている。しかし、汚染範囲下端を基準とすると、矢板の設置深度が矢板毎にそれぞれ異なる。矢板は地下水流動を阻害することになるため、このような場合には、地下水流向に乱れが生じ、結果として汚染物質が矢板外に流出するおそれも否定できないため、安全側として、最も根入れ深度が深い +9.0m ですべての根入れ深度を統一した。

なお既設矢板は、+12.3m であるため、そのままの深度を解析条件とした。

表 2.1 数値解析における矢板の設定深度

区分	矢板深度（標高：m）
新設矢板	+9.0m
既設矢板	+12.3m

2.2. 数値解析における油の扱い

油は、容易にイオンに分解されないため、基本的には油は水に溶けないこととなる。また油と水の比重では油の方が小さい。このため、水面付近に存在する油が地下水に浸透する可能性は小さい。

数値解析において、油問題を検討する場合、界面特性、比重、拡散係数等のパラメータが必要となるが、実測が難しく文献等に頼らざるを得ないのが実情である。

このため本検討においては、油を親水性の物質として仮定し水面付近に存在する油をある粒子に見立て、矢板設置によってどのように流動するかを予測した。

2.3. 断面 2 次元数値解析上の適用限界

本検討では、断面 2 次元解析としたが、断面 2 次元では奥行き方向の（平面的な）地下水の流動はない条件ことが前提となる。従って、地下水が上流から供給されると、供給された分は必ず下流で流出することになる。すなわち、地下水の流動を阻害する矢板を設置すると、断面 2 次元解析における地下水は、必ず、矢板の下を廻り込むこととなる。

本来であれば、地下水は3次元的な流動となるため、流動を阻害された地下水は、動きやすい箇所へ移動するため、下方向だけでなく、平面的にも流動する。
以上のことから、本解析は、実際の三次元的な地下水流動より安全側の評価を行うこととなる。

3. 解析条件

3.1. 利用プログラム

2D-Flow (地層科学研究所開発)

3.2. 解析測線位置

解析測線は、地下水の流向に並行で、かつ旧処分場内を通過する測線とした。

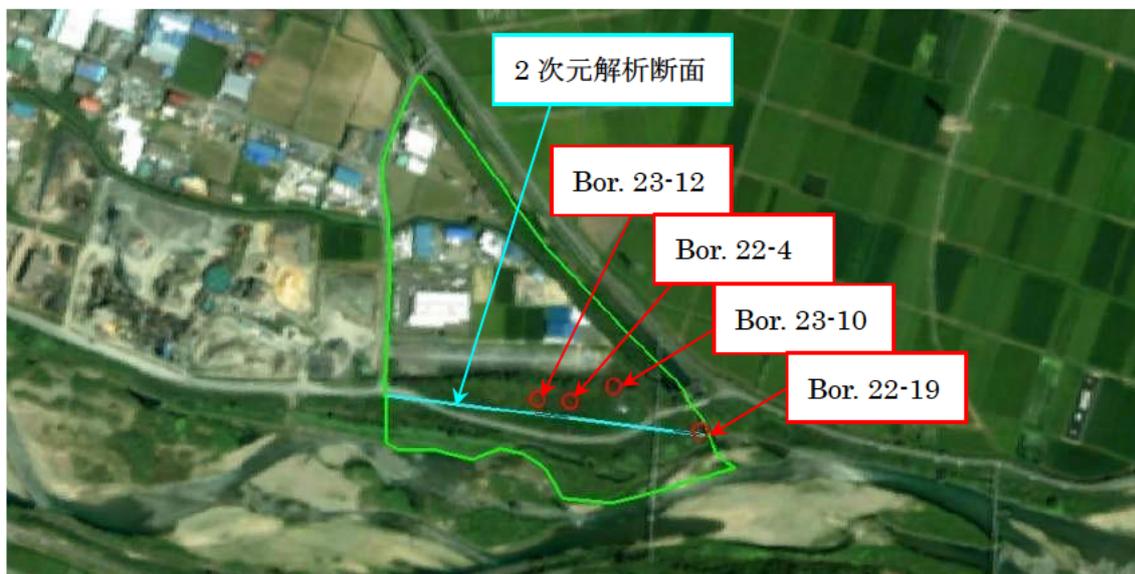


図 3.2 解析対象側線位置図



図 3.3 旧処分場部拡大

3.3. 解析断面

図 3.4 に解析モデル断面を示す。既設矢板の端部は標高 12.3m、新設矢板は標高 9.0m とした。

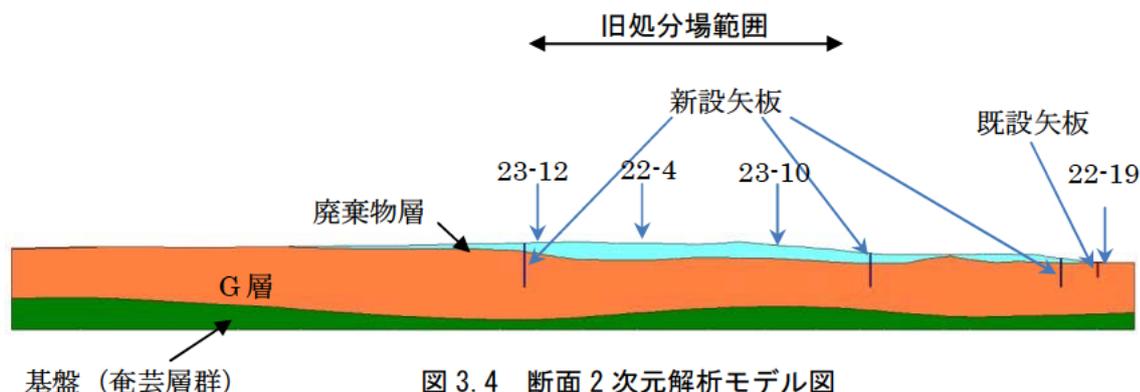


図 3.4 断面 2 次元解析モデル図

3.4. 透水係数

解析モデルに与えた透水係数は、既往調査結果を参考に、各層の平均値とした (表 3.1)。

矢板の透水係数は、鋼矢板の遮水係数については、土壤汚染対策法の「原位置封じ込め」の措置で示されている遮水係数を参考にした。

(1) 厚さ 50cm 以上かつ透水係数 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下の粘土層、または、これと同等以上の層に遮水シートが敷設されていること。

表 3.1 解析に与えた透水係数

データ	廃棄物層	G層	奄芸層群	矢板
1	9.6×10^{-4}	6.6×10^{-2}	2.1×10^{-5}	1.0×10^{-6}
2		4.7×10^{-2}	1.5×10^{-5}	
3		1.5×10^{-1}	5.3×10^{-6}	
4		6.7×10^{-2}		
5				
平均	9.6×10^{-4}	8.25×10^{-2}	1.38×10^{-5}	1.0×10^{-6}

*ハッチ部：採用値、*単位：cm/s

3.5. 境界条件

解析モデルの両端部に与える境界条件は、藤川観測井戸データ及び既往調査における地下水コンターを参考に勾配を決定し、図 3.5 とした。降雨量は、アメダスデータから桑名におけるデータを適用し、降雨浸透率=0.4 として涵養させた。

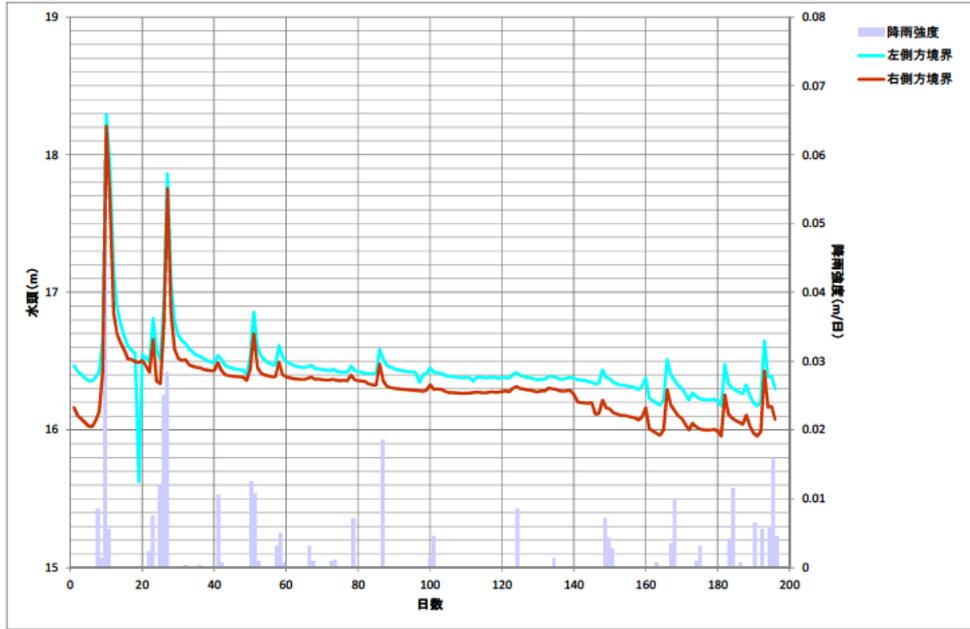


図 3.5 左右の側方境界に設定した境界条件（水位）

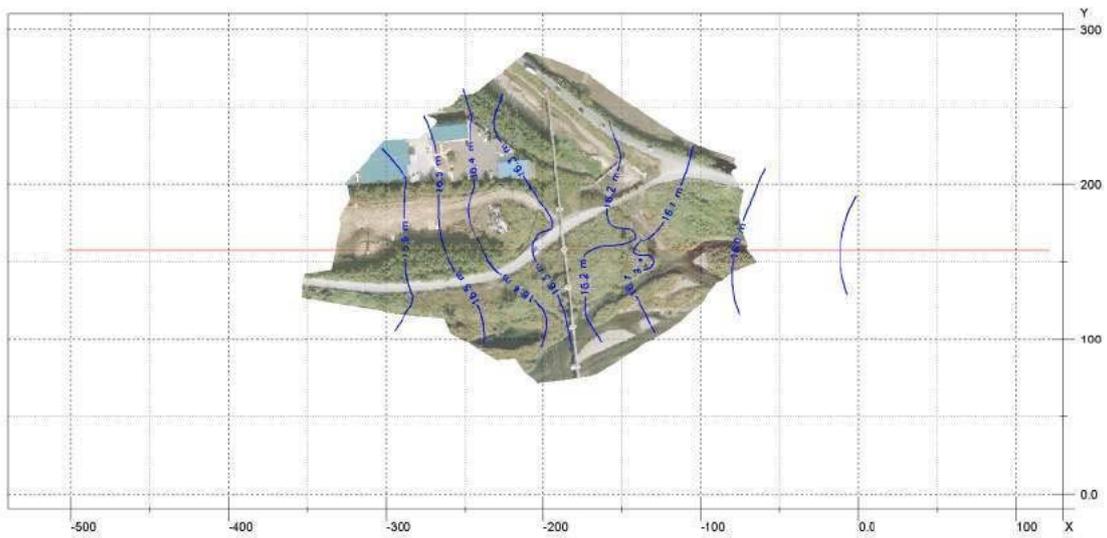


図 3.6 既往調査における地下水コンター図

3.6. 計算ピッチ

降雨、地下水位は1日単位で入力し、計算は0.5日ピッチとした。

4. 解析結果

4.1. 水位再現性の確認（現況再現解析）

入力した条件の妥当性を確認するために、まず既設矢板のみが存在する条件で解析を行った。

結果、実測水位と計算水位は概ね一致しており、特に 22-19 孔に対しては極めて再現性の高い結果が得られた。

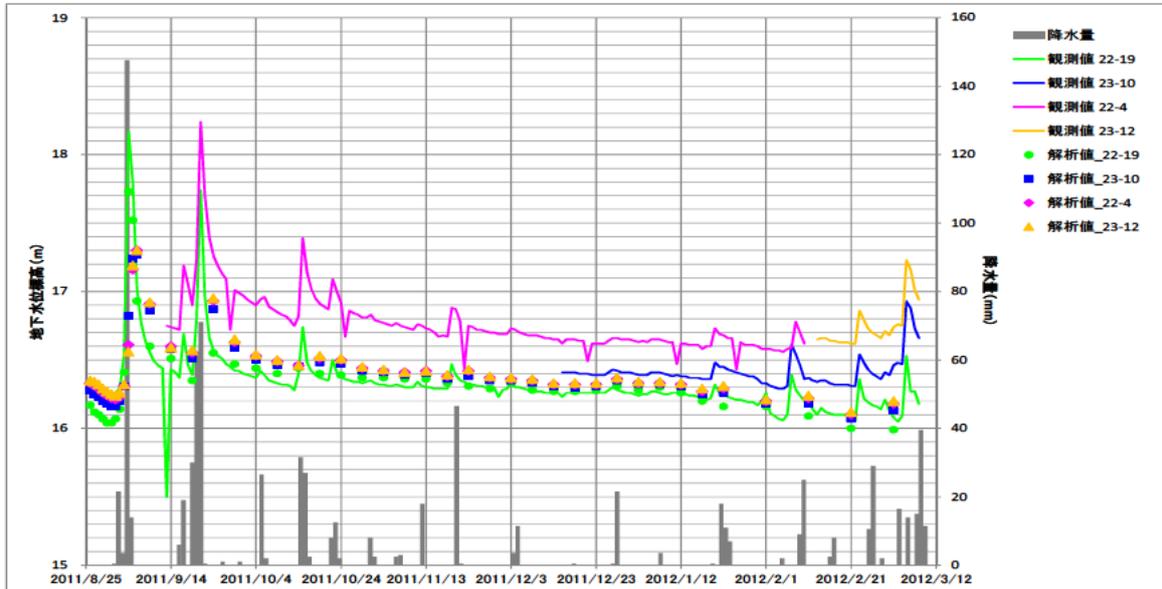


図 4.1 新設矢板施工前（現況）における実測値と計算値の比較

4.2. 矢板設置による水位の変化

矢板設置によって、矢板内水位が上昇するかを施工後と施工前の差で比較すると、計算上は 1cm 程度水位が上昇するが、設置による影響はほとんどないものと考えられる。

なお、高水位時期には周辺の急激な水位変化に矢板内水位がついていかない状況で、最大 4cm 程度、矢板内水位が低いと予測された。

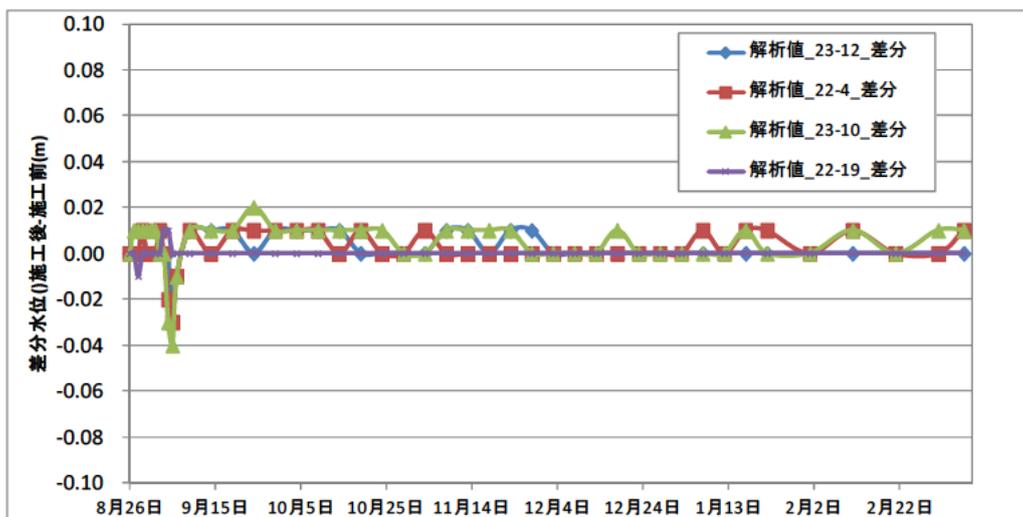


図 4.2 施工前と施工後の水位の差分図（+は矢板内水位上昇側）

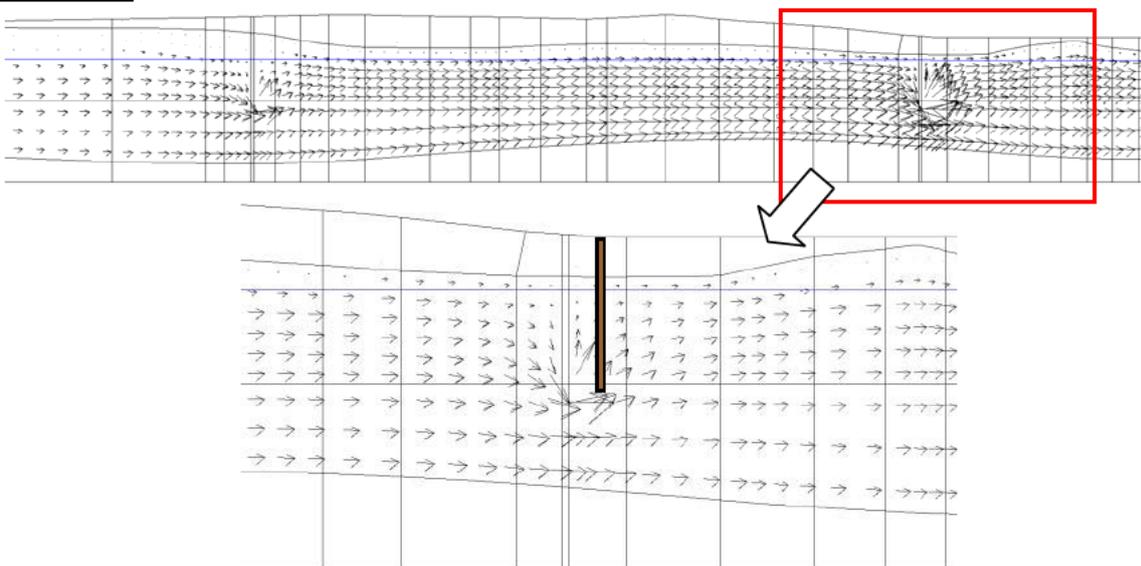
4.3. 矢板設置による地下水流向の変化

矢板設置に伴う地下水流向の変化を把握するため、平常時 (a) 【2011/8/25】と高水位時期 (b) 【2011/9/4】における流速ベクトル図を作成した (図 4.3)。平常時 (a) 地下水は、上流から下流 (図では左から右) に向かって流れ、矢板部では、矢板が流動を阻害するために、矢板の下を廻り込むベクトルが発生する。一方高水位時期は、ベクトルの向きが反転し、図では右から左に向かって流れる。これは、一時的にはあるが、藤川の水位が、地下水位よりも上昇したことが原因として考えられる。

以上のことから、平常時においては矢板の下を廻り込むベクトルが発生するが、高水位時期には、平常時よりもより強い廻り込みベクトルは発生しないことが予測された。

なお、平常時に発生する廻り込みベクトルについては2次元解析では、必ず発生するものである。

平常時 (a)



高水位時期 (b)



図 4.3 矢板設置後における平常時と高水位時期の流向ベクトル図

4.4. 油が矢板外に流出するまでの時間

断面 2 次元解析では、矢板内の地下水が矢板を廻り込む結果となるため、廻り込むまでにどの程度の時間を要するかを予測した。

計算は粒子追跡解析とし、旧処分場内の水面付近に設定した粒子が矢板の直下に到達するを計算した。

結果、始点の場所によっても異なるが、矢板内水面付近の地下水は 7.9～11.9 年で矢板直下に到達すると予測された。

なお、本解析は油を粒子に見立てているが、この粒子は完全に溶解性で、比重も水と同じとしていることに加え、吸着効果も見込んでないため、本来はもっと遅れて流出すると想定される。

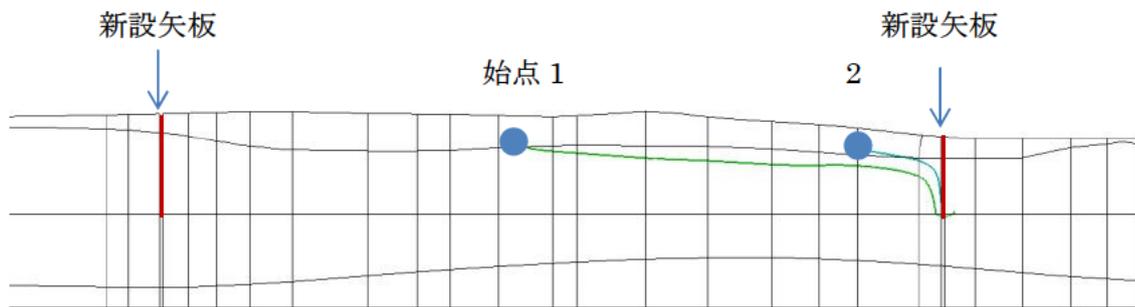


図 4.4 粒子追跡解析結果

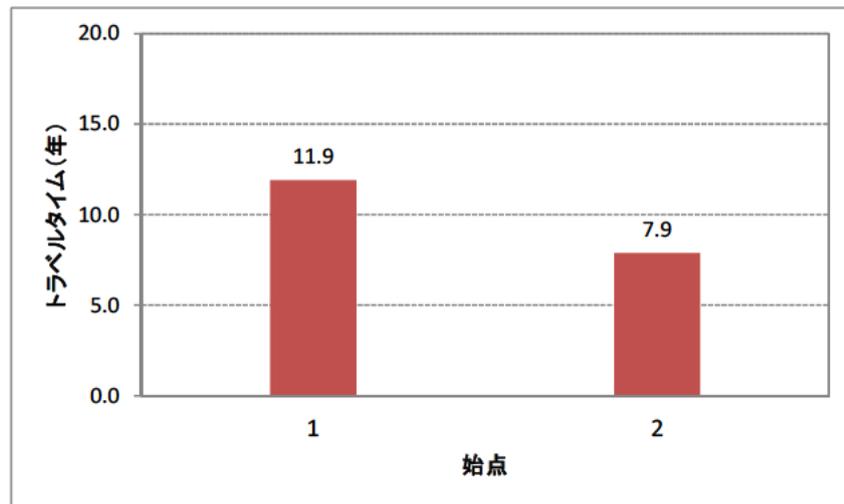


図 4.5 各始点からの矢板直下までの移行時間

5. 解析結果のまとめ

- ・ 矢板を設置しても、矢板内と外とで、有意な水位の差は生じない。
- ・ 矢板設置後、高水位時期となっても、矢板内の地下水が、矢板外へ向かうベクトルが卓越する状況はない。
- ・ 断面 2 次元解析上、矢板内の水は矢板の下を廻り込むと予測されるが、矢板直下まで到達する時間は 7.9～11.9 年と比較的長期となる。さらに油として扱うと、その期間はより長いと考えられる。

6. 【参考】矢板存在による水収支観点からの影響

浮き型矢板が存在することによる地下水流動への影響度、及び矢板内に浸透する雨水による地下水への影響度を断面 2 次元により水収支観点から簡易的に算出した。

6.1. 水収支算出上の条件

水収支算出上の条件及びその根拠は、表 6.1 に示すとおりである。ここで、蒸発散量は実測値がないので、日本の水資源（国土交通省、2011）を参考とした。

表 6.1 水収支算出上の条件

項目	記号	値	根拠
降水量	P	1557mm	桑名観測所（2002～2011）の平均
蒸発散量	E	561mm	雨量の 36%（日本の水資源参照）
動水勾配	I	0.0035	地下水コンターから推定 （距離×水位差＝85m×0.3m）
透水係数	k	0.000825	Ag 層、透水試験結果平均
水面から奄芸層群 上面までの長さ	D	18.3m	地質断面図より算出
水面から新設矢板 下端までの長さ	D	7.8m	地質断面図及び矢板深度より算出
矢板範囲距離	L	114m	囲い込み範囲図より算出

6.2. 水収支

水収支は、年間量として算出すると表 6.2 のとおりとなる。また地下水流動量を基準と影響度を算出すると、矢板内の実浸透量は 6.8%、矢板存在による流動阻害は 42.6%なる。

なお、流動阻害は計算上 40%となるが、実質は地下水が、矢板の下を廻り込むため影響としては大きくないと考えられる。

図 6.1 に水収支概念図を示す。

表 6.2 水収支算出結果

項目	量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	計算式	地下水流動量 に対する割合(%)
矢板内の降水量	177.5	$= P \times L / 1000$	10.7%
矢板内の蒸発散量	63.9	$= P \times 0.36 \times L / 1000$	3.8%
矢板内の実浸透量	113.6	$= P - E$ (表面流出はないと仮定)	6.8%
地下水流動量	1666.4	$= (k \times i \times A) \times 60 \times 60 \times 24 \times 365$	100.0%
内、矢板阻害量	710.3	$= 1666.4 \times (7.8 / 18.3)$	42.6%

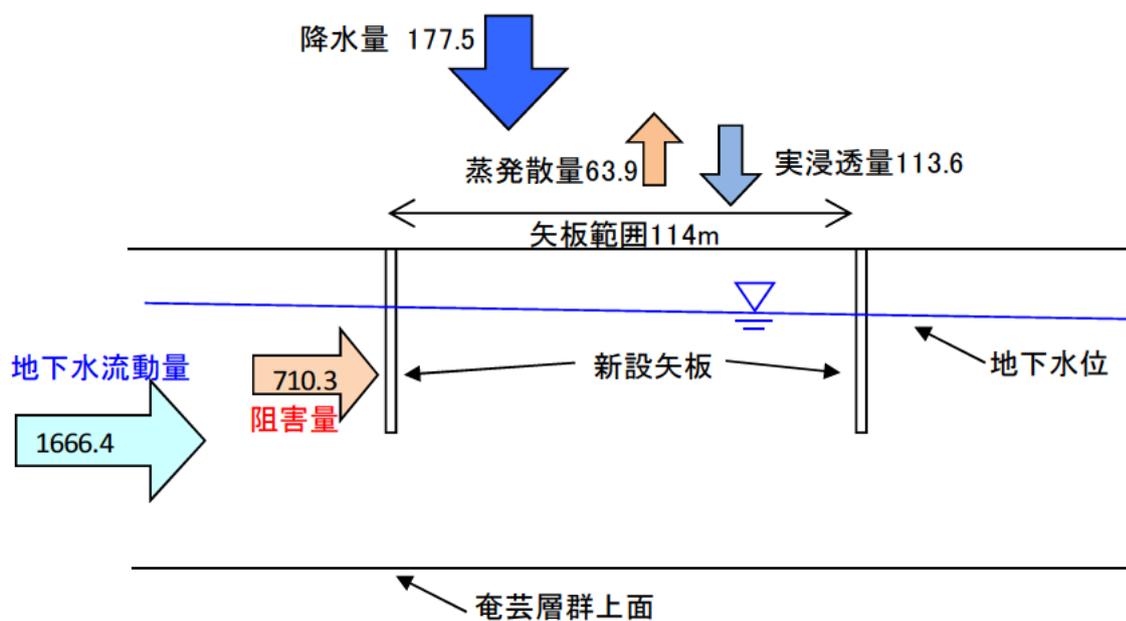


図 6.1 水収支概念図 (単位は $\text{m}^3/\text{年}$)

7. 鋼矢板の漏油防止措置及び耐久性について

7.1 鋼矢板継手部での漏油防止措置

鋼矢板継手部の漏油防止措置は、前回委員会で膨潤性材料の塗布による対策を示した。

<参考：膨潤性材料を塗布した鋼矢板>

膨潤性材料は、塗布後に硬化し、ゴム弾性を持つ生成物となる。鋼矢板打設後、周囲の地下水を吸収して膨張し、継手の隙間に充填する。また、膨潤性遮水材は特殊ポリウレタンを主成分とし、水を吸収して3倍～20倍程度まで膨張する。図7.1に膨潤性材料を塗布した継手部状況を示す。

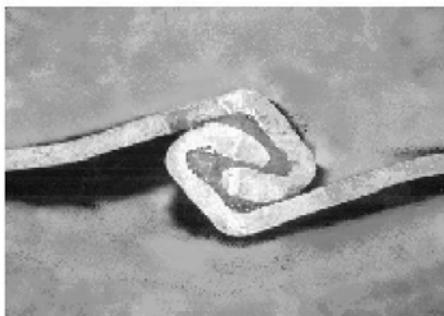


図 7.1 膨潤性材料を塗布した継手部状況

7.2 鋼矢板の耐久性

鋼矢板の耐久性は、前回委員会で、鋼矢板の腐食代により設定し、約30年～50年であることを示した。(表7.1)

表 7.1 鋼矢板の腐食代及び防食法に関する基準

区別	基準名称	腐食代	防食法																
港湾関係	港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成11年4月)(日本港湾協会)	鋼材の腐食速度は、環境条件によって異なるので、当該施設のおかれた条件を考慮して適切に決定するものとする。 <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th>腐食環境区分</th> <th>腐食速度(mm/y)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H.W.L～以上</td> <td>0.3</td> </tr> <tr> <td>H.W.L～L.W.L-1.0m</td> <td>0.1～0.3</td> </tr> <tr> <td>L.W.L-1.0m～海底</td> <td>0.1～0.2</td> </tr> <tr> <td>海底泥層中</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>陸上大気中</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>土中(残留水位上)</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>土中(残留水位下)</td> <td>0.02</td> </tr> </tbody> </table>	腐食環境区分	腐食速度(mm/y)	H.W.L～以上	0.3	H.W.L～L.W.L-1.0m	0.1～0.3	L.W.L-1.0m～海底	0.1～0.2	海底泥層中	0.03	陸上大気中	0.1	土中(残留水位上)	0.03	土中(残留水位下)	0.02	(1)電気防食 適用範囲平均干潮面以下 (2)被覆材による防食 適用範囲潮位平均干潮面以下1m以浅セメント硬化体、塗装、有機質ライニング、金属ライニング (3)干満帯および海中においては腐食しろによる防食は用いないことを原則とする。ただし、仮設構造物の場合は腐食しろによる防食の考え方を適用してもよい。
	腐食環境区分	腐食速度(mm/y)																	
H.W.L～以上	0.3																		
H.W.L～L.W.L-1.0m	0.1～0.3																		
L.W.L-1.0m～海底	0.1～0.2																		
海底泥層中	0.03																		
陸上大気中	0.1																		
土中(残留水位上)	0.03																		
土中(残留水位下)	0.02																		
	漁港の技術指針(1999年版)(全国漁港協会)	腐食代は、30年分を考慮することを標準とする 鋼材の腐食速度(片面)の標準値は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」と同じ	鋼材の防食方法の実施例として ①腐食代による方法 ②被覆防食と腐食代の併用による方法 ③被覆防食と電気防食の併用による方法 ④被覆防食および電気防食と腐食代の混合による方法がある。																
河川関係	建設省事務連絡(昭和54年4月10日)護岸用鋼矢板の選定について 災害復旧工事の設計要領	表裏合わせて2mmただし特に腐食が著しいと判断される場合は現地に適した腐食代を見込む 一般河川 表裏合わせて2mm																	

7.3 油に対する膨潤性材料の耐久性

油に対する膨潤性材料の耐久性は、取扱いメーカーによる原油浸漬試験結果を参考にす。試験は、油に対する膨潤性材料の耐久性を確認するため、原油浸漬による膨潤率への影響と原油浸漬による止水性への影響の試験を実施している。

<参考：原油浸漬試験（原油浸漬による膨潤率への影響確認）>

（試験内容）

- ・ 膨潤性材料を塗布した鋼矢板の試験片を原油中に浸漬させる。
（浸漬時間は8h、24h、48h、120h、240h、500h）
- ・ 原油浸漬後、試験片の原油をふき取った後、水中に浸漬させ、膨潤率を測定する。
（水中に浸漬する期間は、24h、96hとする）
- ・ 原油浸漬を行わない場合の膨潤率との比較を行い、原油浸漬による膨潤率への影響を確認する。
- ・ 膨潤率：水浸漬後重量/水浸漬前重量

（試験結果）

表-2 原油浸漬による膨潤率の変化

区 分	原油浸漬 しない場合	原油浸漬した場合 （原油浸漬時間）						
		8h	24h	48h	120h	240h	500h	
膨 潤 率	24h （水浸漬時間）	5.0	5.0	5.0	5.3	5.6	5.2	5.6
	96h （水浸漬時間）	5.2	5.3	5.4	5.6	5.7	5.3	5.9

- ・ 原油浸漬した場合の膨潤率は、原油浸漬しない場合の膨潤率と比較すれば、ほとんど変化がない。そのため、原油浸漬による膨潤率の影響は、ほとんどないと想定される。

<参考：原油浸漬試験（原油浸漬による止水性への影響確認）>

（試験内容）

- ・ 膨潤性材料を塗布した鋼矢板の試験片を原油中に浸漬させる。
- ・ 原油浸漬後、試験片に5.2kg/cm²の圧力をかけ、漏水がないか目視確認する。
（5.2Kg/cm²は深さ52mの水圧に相当する。）

（試験結果）

- ・ 漏水の確認はされなかった。

本事案の油は、エンジンオイルや潤滑油に近い性状を示し、原油とは異なるものの、これらの試験結果を参考にすれば、膨潤性止水材は良好な耐油性を有していると想定される。