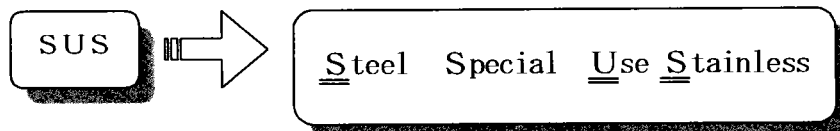


第5章 ステンレスの錆・異種金属間接触

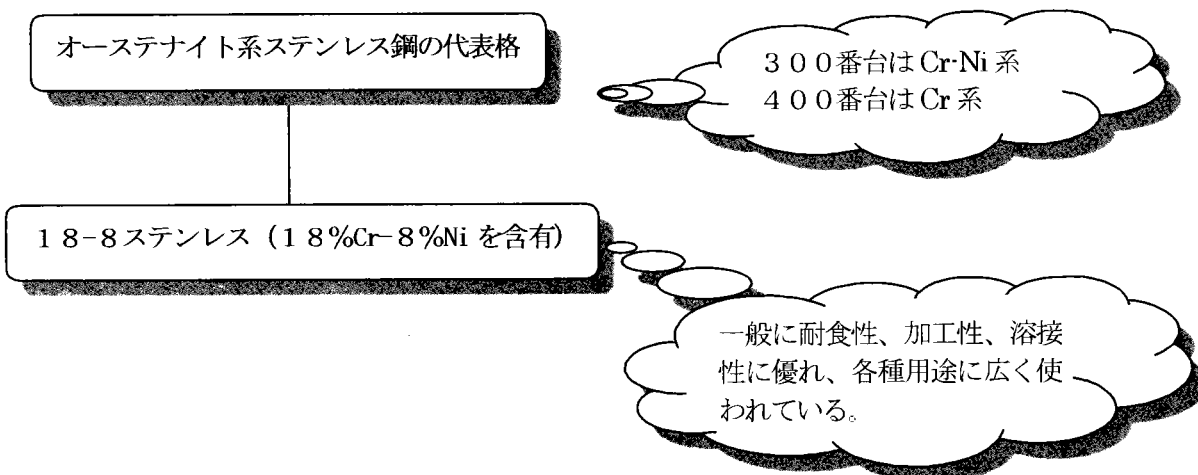
5-1 ステンレス鋼の錆

5-1-1 ステンレス鋼の種類 (鋼構造関係でよく使う種類)

1) SUSって何?

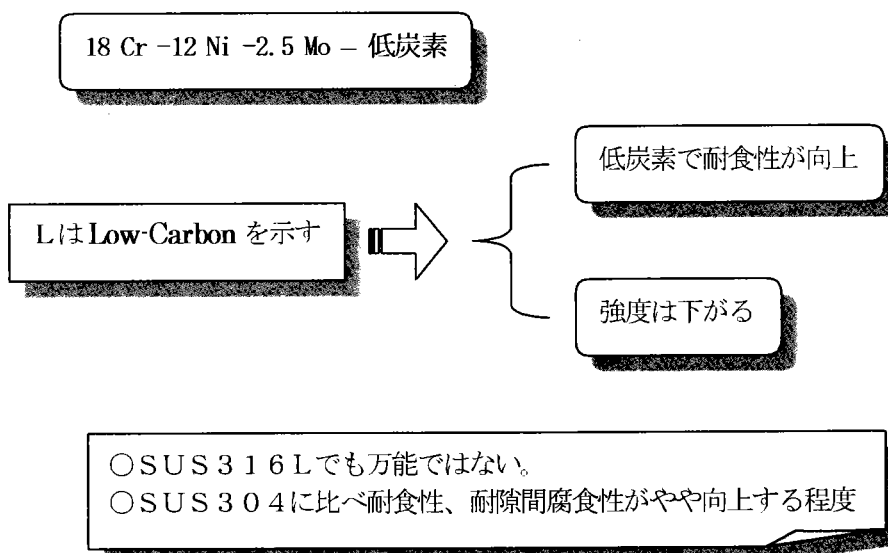


2) SUS304って何?



3) SUS316Lって何?

SUS316はMoを添加して非酸化性の酸等に対する、主としてSUS304に比べ耐孔食性を高めたもの。その極低炭素仕様(0.03%以下)がSUS316Lである。



4) 水門等でよく使う SUS

① SUS 304N2 って何?

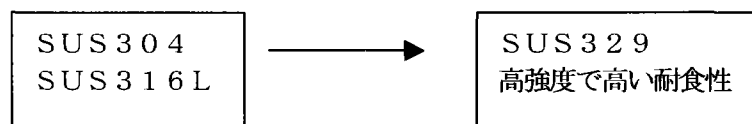
SUS 304 に N と Nb を添加し、延性の低下を抑えて強度を高めた構造用鋼材。

18 Cr - 12 Ni - N- Nb

② 2 相ステンレスって何?

オーステナイト・フェライト系ステンレスのことでオーステナイト組織とフェライト組織がほぼ半分ずつ存在する。高強度で水門の戸当り等の強度部材に使用される。

熱処理や溶接による影響で金属組成に微妙な影響がでることがあるが



○ SUS 329J1 (25 Cr - 4.5 Ni - 2 Mo)

○ SUS 329J4L (25 Cr - 6 Ni - 3 Mo - 0.2 N - 低 C)

5) 新耐海水性ステンレス

① 従来タイプとの相違

スーパーオーステナイト系とスーパー 2 相系ステンレスに大別される。従来と比べて次のような特徴がある。(以下メーカーカタログより)

<共通事項>

- 耐海水性に非常に優れている
- 耐隙間腐食性を著しく改善
- 耐酸性を向上
- 耐応力腐食割れ性を向上
- 値段が従来の倍以上

② 供給メーカーと商品名 (平成 14 年 2 月現在)

- 新日本製鉄 YUS 270 (スーパーオーステナイト系)
- 住友金属 NRA DP3W (スーパー 2 相系ステンレス)
- 日本冶金 NAS 354N (スーパーオーステナイト系)
- ONKK NSL 310Mo (スーパーオーステナイト系: 製造中止中)

③ 種別

○ スーパーオーステナイト系

高 Cr、高 Ni、高 Mo が大きな特色。これに N (窒素) が加わる。YUS はさらに Cu (銅) も含まれる。

○ スーパー 2 相系ステンレス系

従来の SUS 329J4L 等をベースに W (タングステン) を添加している。Cr 量はスーパーオーステナイト系と遜色ない。

④ 使用実績

橋梁では使用実績は把握していない。港湾構造物では荷揚げプラットフォームの鋼管杭ライニング材で実績がある。

スーパーオーステナイト系は 1000 円/kg を超える超高額単価。2 相系ステンレスの方が少し安い。橋梁部材として使用するには更なるプライスダウンが必須と思われる。

5-1-2 よく使うステンレス鋼の機械的性質（出展 JIS）

種類	耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ (HB)
SUS304	205以上	520以上	40以上	187以下
SUS304N2	345以上	690以上	35以上	248以下
SUS316L	175以上	480以上	40以上	187以下
SUS329J1	390以上	590以上	18以上	277以下
SUS329J4L	450以上	620以上	18以上	302以下

5-1-3 許容応力度の考え方

1) 道路橋示方書

鋼道路橋示方書では強度部材としてステンレスを想定していないため記述がない。

2) ダム堰基準

ダム堰は主に水門等の設計に不可欠な基準書であるが、許容応力度の基本的考え方は下表のようである。安全率は流体中における振動を考慮して 2.0 としてある。

種類	許容応力度 (N/mm ²)	道示換算 (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	硬さ (HB)
SUS304	103	120	205以上	502以上	187以下
SUS304N2	173	202	345以上	690以上	248以下
SUS316L	88	102	175以上	480以上	187以下
SUS329J1	195	228	390以上	590以上	277以下
SUS329J4L	225	263	450以上	620以上	302以下

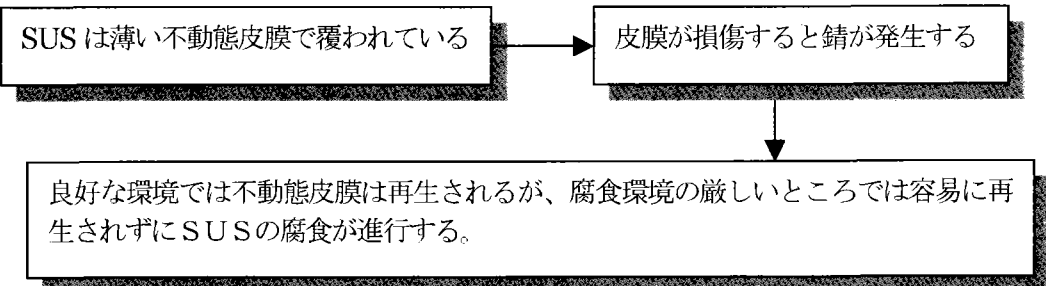
5-1-4 ステンレス鋼は錆びないか？

1) 不動態皮膜

ステンレス鋼は簡単にいうと鉄 (Fe) とクロム (Cr) の合金鋼である。炭素量を抑えた上で Cr 量を 12%以上にすると、耐食性が著しく向上する。

含有される Cr は酸素と水などとイオン結合し、非常に薄い (1～3 nm) の Cr 水酸化物による不動態皮膜を表面に形成する。

Cr は酸化しやすく、酸化クロムは非常に安定した酸化物 (錆のようなもの) でそれ以上の内部への錆の進行を防ぐ。

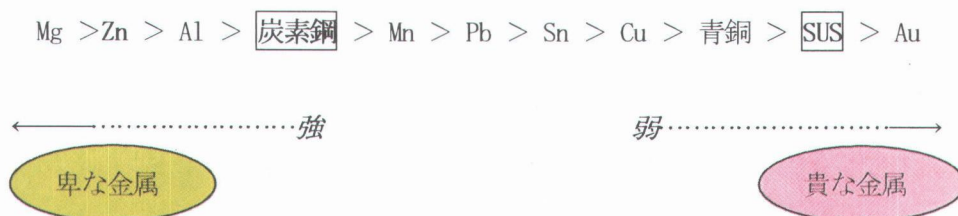


2) 金属のイオン化傾向

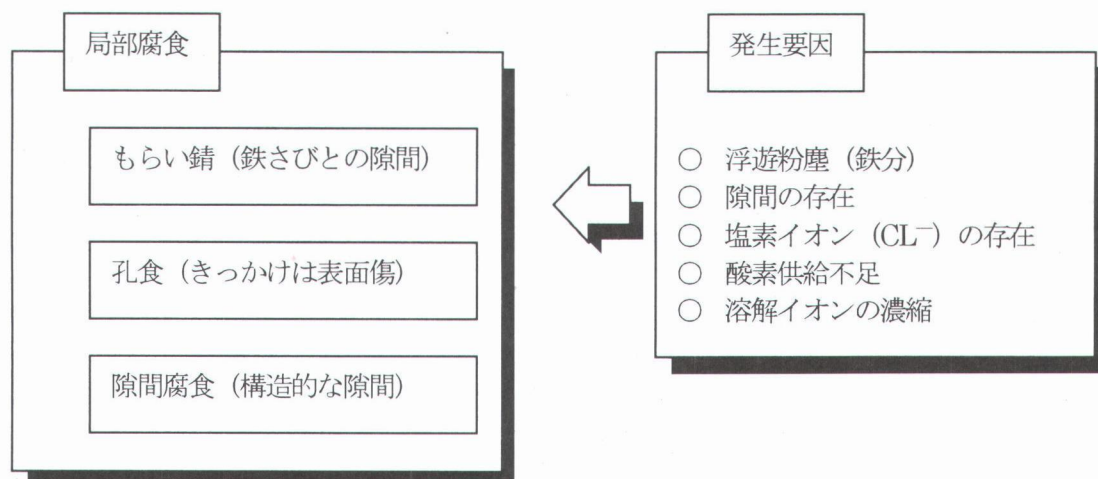
錆びるという現象は各種金属表面から溶出した金属イオンが大気中などの酸素や水と結合し、金属化合物をつくることを意味する。鉄鉱石を原料とする鋼はそのままでは大気中の酸素や水素と結びつき、安定した化合物（酸化鉄＝さび）になろうとする。つまりイオン化しやすいほど活性化状態（錆びやすい）といえる。

SUSは下記のように明らかに錆びにくい金属に分類される。

《 イオン化傾向の強弱 》

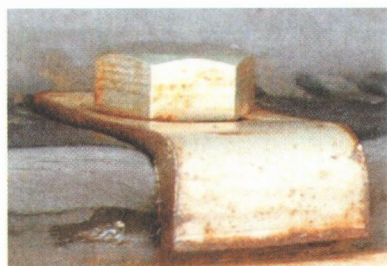


3) 土木構造物によく見られる錆



- 大気中の浮遊錆が付着
 - まだSUSは錆びてない
 - 材質はSUS316L
 - 定期的な清掃で清浄面を保つことが必要

写真5-1 もらい錆



- 隙間に塩素イオンが供給され
隙間腐食が発生している
- 酸素供給不足
- 材質は SUS304

写真 5-2 隙間腐食



- 基本的に隙間腐食と同じ
- 不動態皮膜が傷つくことで
発生
- 孔に塩素イオンが供給され
腐食が拡大
- 酸素供給不足

写真 5-3 孔食の顕微鏡写真
(出展：ステンレスのおはなし)

4) その他の代表的なステンレスの錆

①粒界腐食

ステンレス鋼中の Cr が炭素と結合し、Cr 炭化物として析出することにより、Cr 含有が著しく少ない層が発生し、そこから腐食が進行する。

結晶粒界での Cr 炭化物生成はステンレス鋼が 450℃～850℃で起こり、溶接作業中には必ず発生する温度域であるため、対策としては下記がある。

○1000℃強に再加熱急冷処理（固有化熱処理）する。

○低炭素鋼、または炭素と親和力の強い Ti、Nb を加えた合金鋼を採用し、炭化物を先に生成させてしまう。

②応力腐食割れ

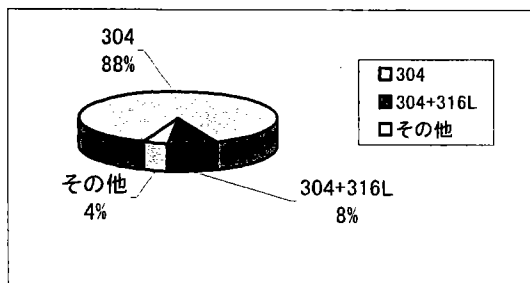
部材を溶接したり、冷間加工する過程で残留応力が生じたり、引張応力が生じている状況である腐食環境が生じた場合に割れとして発生する。

5-1-5 アンケート結果

本章に関して鋼技研施工部会会員各社にアンケート協力をお願いし、27 社中 25 社から回答を得て貴重な資料とさせていただいた。SUSに関する情報の一旦として参考にさせていただきたい。

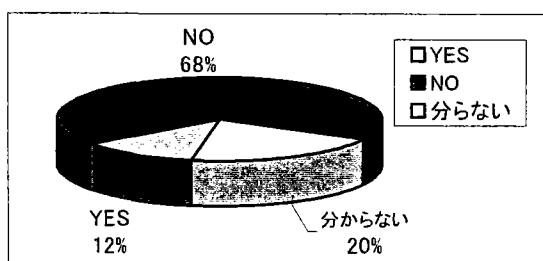
ステンレスの錆について

①SUS材として一般的に使用する材質は何ですか？



○ 橋梁に使用されるSUS材は90%近くがSUS304である。

②SUS304仕様をSUS316Lに変更することはありますか？



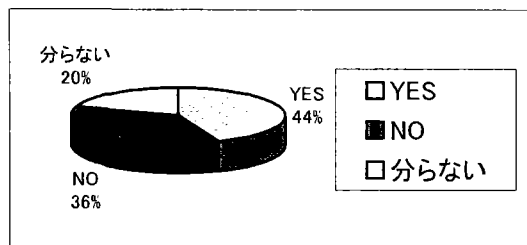
○ 多くの場合、耐孔食性に優れたSUS316Lの使用は少ない。
○ 水門を取り扱う場合、SUS316Lへの変更が見られる。

③上記'②'で『YES』の場合、どのようなケースでSUS316Lを使用しますか？

<使用事例>

- 1) 飛来・付着塩分が多いと予想される場合(海上橋の手摺)

④かつてSUS材に錆が発生し、トラブル、クレーム等が生じたことはありますか？



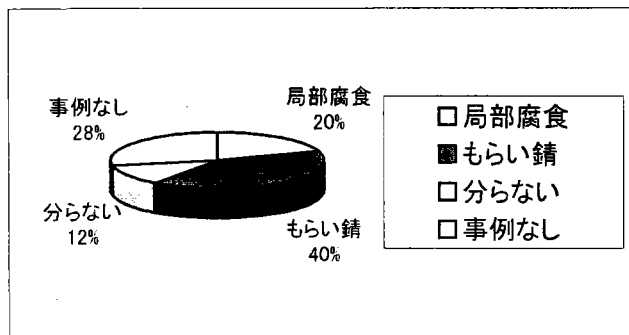
○ SUS材トラブル例は44%の会社で経験している。

⑤上記'④'で『YES』の場合、発生した部位、部品は何ですか？

<部位、部品>

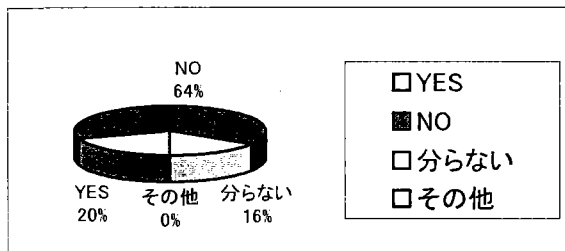
- 1) 給水管の継ぎ手
- 2) 分からないがボルト等
- 3) 水門扉
- 4) 手摺、排水樋
- 5) 伸縮装置樋の溶接継ぎ手部
- 6) 溶接・ガス炎による歪矯正・グラインダーの切粉
- 7) 水門スキンプレート
- 8) 放流管の内張管 (C.S+SUSクラッド)

⑥トラブル、クレームでのSUSの錆の種類は何ですか？



- もらい錆トラブルが40%を占める。
- 一般鋼の製作過程からのもらい錆と思われる
- 局部腐食も少ないとはいえない。

⑦SUS材の錆防止に製作工程上何か対策を講じていますか？

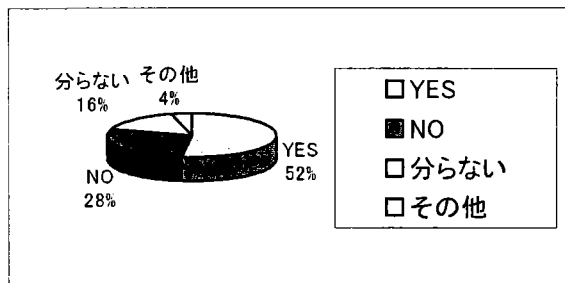


- もらい錆トラブルが多いのと比例し製作上の対応策は少ない。
- 但しALL・SUS工事等は区画管理をシート等で徹底していることが多い。

<対策事例>

- 1) 工具、砥石類の使い分け
- 2) 酸洗い後に非黄変アクリルクリヤ塗装

⑧『SUS材は錆びない』という考えは一般化していると思いますか？



- SUSは錆びないという漠然とした感覚があるものと思われる。
- SUSの錆発生状況を認識しているが1/3ある。

5-2 異種金属間接触

SUSと異種金属接触の問題は橋梁主構造ではそれほど実例がなく、付属品で時に発生する場合がある。また近年、省メンテナンス橋梁の一環として耐候性橋梁にメッキの落橋防止装置を設置する等の設計もよく見られる。

本項では異種金属間接触の大まかな機構とトラブル事例を簡単に説明する。

5-2-1 橋梁によく見られる異種金属間接触例

- 1) 耐候性橋梁主桁WEBとメッキ落橋防止装置
○卑なメッキ部分の面積と貴な主構造（炭素鋼）の面積で大きな差異があり、望ましい設計とはいえない。
- 2) 検査路・手摺におけるSUS部材と亜鉛メッキボルトの併用
○主構造のSUSにメッキボルトは避けるべきである。
- 3) 橋歴板（ブロンズ製）とメッキや真鍮（銅と亜鉛合金：黄銅）ボルト
○下記のようにかなりイオン化傾向が異なり、好ましくない。
- 4) 橋歴板（ブロンズ製）と桁の耐候性鋼材
○上記と同様に好ましくない。絶縁を図るべきである。
- 5) 耐候性橋梁の桁と亜鉛メッキの排水バンド
○上記と同様に好ましくない。絶縁を図るべきである。



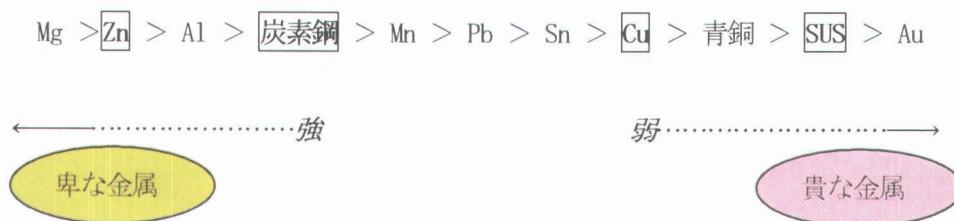
写真5-4 異種金属間接触

● SUS鋼板に亜鉛メッキ
高力ボルト（F8T）

5-2-2 異種金属間接触があるとどうなるか？

- 1) 金属のイオン化傾向
先に述べたようにイオン化しやすいほど活性化状態（錆びやすい）といえる。

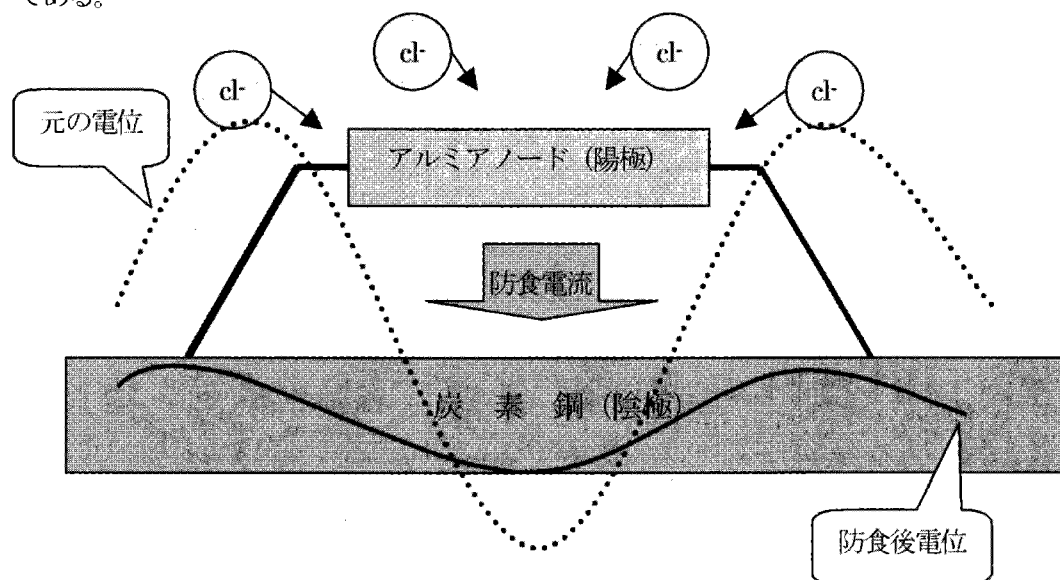
《 イオン化傾向の強弱 》



＜イオン化傾向差が大きくなる組合せは好ましくない＞

2) 犠牲陽極作用

異種金属間の接触特性を逆手にとって主構造の防食を図ろうとする方法が電氣的防食工法である。海上橋梁の橋脚海中部などでアルミアノードを設置することが多いが、これはイオン化傾向の強弱を利用して橋梁本体構造を構成する炭素鋼を防食するものである。



○アルミ合金は海中でイオン化し、アノード（陽極）となり、相対的にカソード（陰極）となる炭素鋼に腐食防止電流を供給する。

○この電流発生と共に、海中の塩素イオンは陽極に移動し、アルミ合金から溶出した活性イオンと結合する。

○この作用により本体構造はそれ自体の腐食を一定期間防止できる。

3) 材料選択のミスマッチが生じさせる錆

異種金属の接触がある場合、下記条件で卑な金属はイオン化の速度を増大させ、錆が促進される。

- イオン化傾向が大きい
- 貴な金属の占める割合が多い

冒頭紹介した異種金属の選択は、短期的には大丈夫でも長期的防食において問題が生じる場合がある。橋梁技術者として最低限の知識をもって材料選択を行うことが望ましい。

5-2-3 対応例

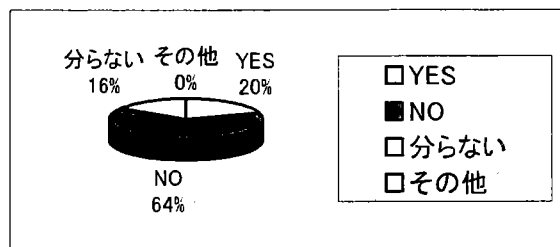
- 1) 異種金属を使用しない。
- 2) 接触面に塗装、ゴム等の絶縁材を挿入する。
- 3) 接触面に水分、塩分、酸素等が供給されないようにシーリング・塗装等を行う。
- 4) 卑な金属の面積を貴な金属の面積より相当量大きくする。

5-2-4 アンケート結果

SUSのアンケート同様、施工部会所属会社にご協力いただいた。少ない例ではあるが、鋼橋の製作過程でも異種金属間接触が生じている。対策等も含めて参考にさせていただきたい。

異種金属間接触

①かつて異種金属間接触でトラブル、クレーム等が生じたことはありますか？



○ 異種金属間接触トラブルは少ない。

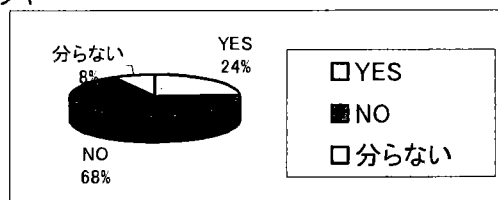
②上記'①'で『YES』の場合、発生した部位、部品は何ですか？

<部位、部品>

- 1) 鋼スタッドボルトにSUSナットで回転しなかった
- 2) 客先指示でブロンズ橋歴板とSUSB・Nは避ける。検査路×手摺B・N(メッキとSUS)を避ける。
- 3) 配水管支持金具本体がメッキ取付B.NがSUS
- 4) 橋梁排水バンド
- 5) 検査路(メッキ)+ボルト(SUS)
- 6) 火力発電所の角落とし部

③次の接触がある場合何か対策を取っておられますか？(耐候性鋼含む)

a. 鋼×メッキ

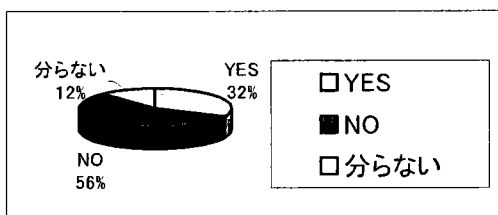


○ 特に対策を取っていないが70%弱。

○ 接触面積が少ないとの判断が多いと思われる。

○ 耐候性鋼材と耐震連結装置などに見られる。

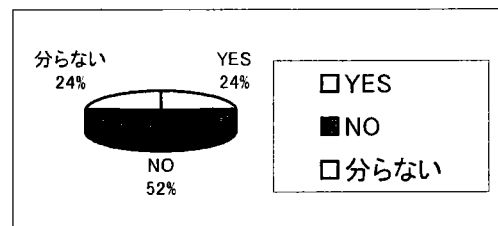
b. 鋼×ステンレス



○ 特に対策を取っていないが60%弱。

○ 接触面積が少ないとの判断が多いと思われる。

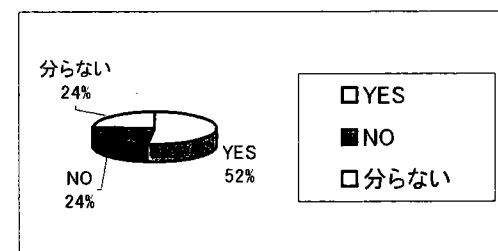
c. ステンレス×メッキ



○ 特に対策を取っていないが50%強。

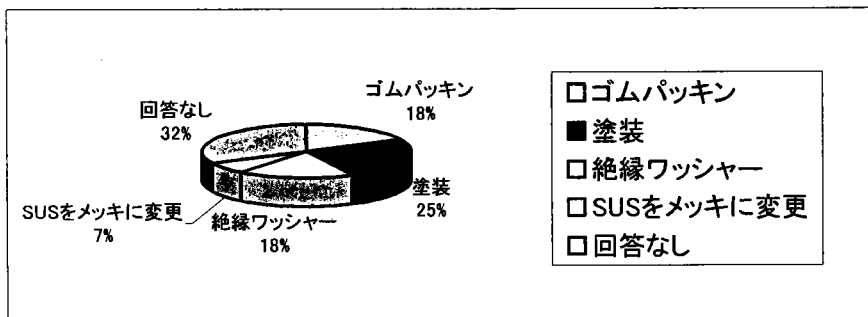
○ 接触面積が少ないとの判断が多いと思われる。

d. 接触面積が小さいのでそのまま取付ける



○ 上記 a,b,c.の質問回答と相関がある。

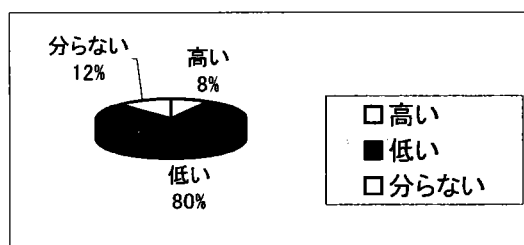
④上記'③a～c'で『YES』の場合、腐食電池を形成させない対策は何が多いですか？



※絶縁ワッシャーには下記の複数種類の回答があった。

ナイロン ワッシャー	絶縁紙	絶縁 ワッシャー	絶縁樹脂
---------------	-----	-------------	------

⑤異種金属間接触に対する貴社技術者の関心度はどう思われますか？



- 基本的に異種金属間接触の機会が少ないと思われる。
- 主要部材よりも付属品に多い点も関連があると思われる。

<参考文献>

- 1) ステンレス鋼の選び方・使い方 編集委員長 田中良平 (日本規格協会)
- 2) ステンレスのおはなし 大山正・森田茂・吉武進也共著 (日本規格協会)
- 3) 土木構造物の腐食・防食Q&A (社団法人 鋼材倶楽部 土木構造物防食委員会)
- 4) 錆と防食のはなし 松島 巖 (日刊工業新聞社)
- 5) 金属の話 井口洋夫 (培風館)
- 6) これから始めるコンクリート補修講座 (日経B P社)