

本PDFは、世界のステンレスメーカー・団体で構成された世界規模の団体であるISSF (International Stainless Steel Forum) のウェブサイトのコンテンツ「STAINLESS REBAR」を翻訳したものです。

## ステンレス鉄筋 (STAINLESS REBAR)

- ホーム  鉄筋はなぜ錆びるのか？  ステンレスをどこに使うのか？  
 なぜステンレスがよいのか？  ステンレスの特性



### ISSFによろこそ！

ISSFの鉄筋専用ウェブサイトによろこそ。

今までに比べて、メンテナンス費用がほとんど或いはまったくかからない状態で100年以上の寿命を持つ建造物（橋梁や埠頭など）への需要が地域社会の費用削減策として広く受け入れられるようになってきました。

ステンレス鉄筋入りコンクリートは耐食性を高め、適切な耐用年数を提供する、容易で信頼できる方法として広く使用されるようになってきました。

このサイトでは、読者の方々のステンレス鉄筋に関するほとんどの疑問に対して直接または参考資料を通じて回答を用意しています。

このサイトの内容は業界の専門家が構成する国際的なタスクフォースが作成しています。ご意見、ご提案、または不明な点がありましたら [issf@issf.org](mailto:issf@issf.org) にご連絡ください。

## 鉄筋はなぜ錆びるのか？

埋め込まれた鉄の腐食による鉄筋コンクリート建造物の早期劣化は世界中で深刻な問題になっています。米国の橋梁の腐食対策に関する費用だけでも年間 80 億ドルを超えると推定されます。

[1] (<http://www.nace.org/Publications/Cost-of-Corrosion-Study/>)

[2] (<https://www.nace.org/uploadedFiles/Publications/ccsupp.pdf>)

主に大きな影響を受ける建造物は海洋性気候の地域に建てられたものや冬季に融雪剤が撒かれる道路橋です。

## 目に見える劣化の進行



## 劣化の主なメカニズム

[3](<http://jmst.ntou.edu.tw/marine/10-2/128-135.pdf>)

[4]([http://www.vtt.fi/files/sites/duraint/task\\_5\\_carbonation\\_and\\_chloride\\_penetration\\_models.pdf](http://www.vtt.fi/files/sites/duraint/task_5_carbonation_and_chloride_penetration_models.pdf))

[5]([https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/159082/2/2006\\_CL06\\_Heirman+et+al.pdf](https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/159082/2/2006_CL06_Heirman+et+al.pdf))

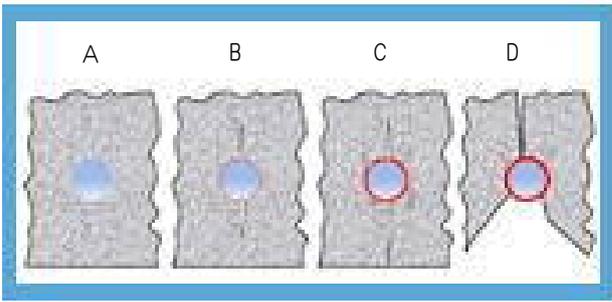
[6](<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5944#4>)

[7]([http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Stainless\\_Reinforcement\\_predictive\\_models.pdf](http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Stainless_Reinforcement_predictive_models.pdf))

### 二酸化炭素のコンクリート内部への侵入

二酸化炭素は  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  と反応し、 $\text{CaCO}_3$  を形成することによりコンクリートの pH を下げます。毛管孔隙を通じて  $\text{CO}_2$  のコンクリート内部への侵入が発生します。従ってこの現象は、温度の他にコンクリートの多孔性と相対湿度に大きく左右されます。pH の値が約 9 になると普通鋼の鉄筋の不働態被膜が破られ、腐食が発生します。

しかし炭酸化だけでは、コンクリートの品質が不適切か、施工が粗悪（コンクリートかぶり不足も含む）でなければ、50 年未満の耐久年数に関しては懸念の原因になることは稀です。これより長い耐久年数が要求される建造物の場合には炭酸化に注意しなければなりません。



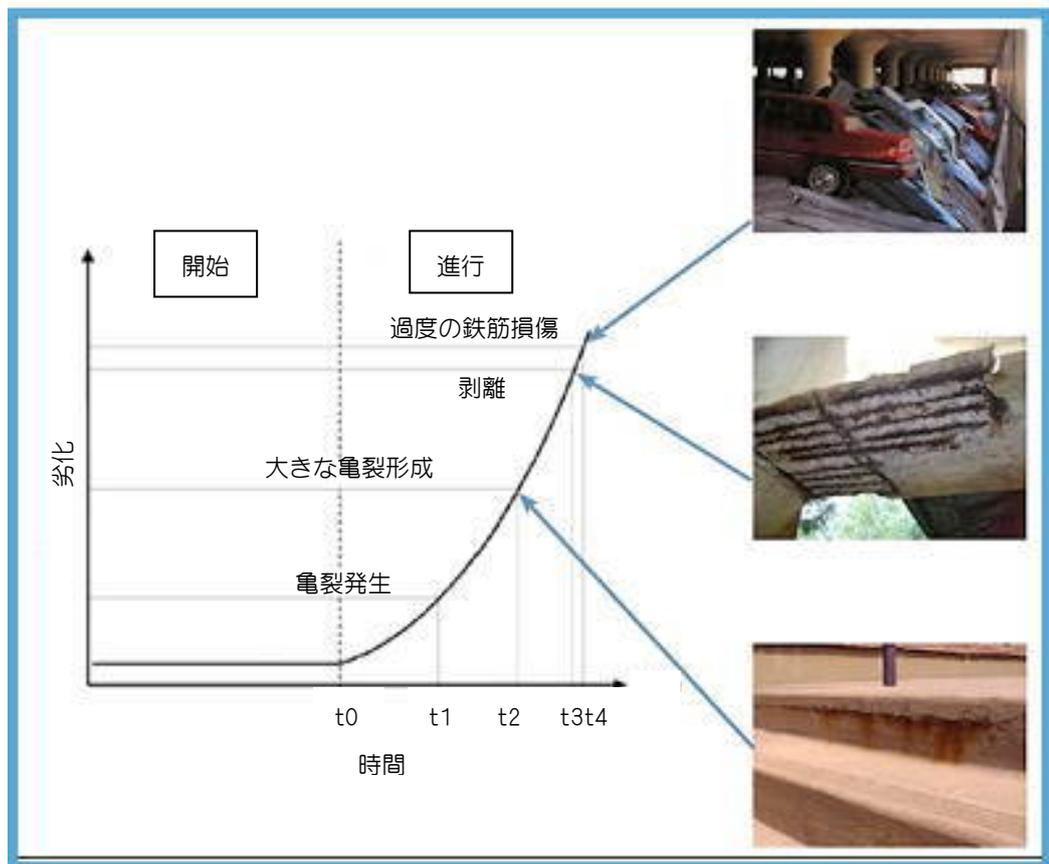
図左から

- A: 腐食前
- B: 腐食発現
- C: 表面亀裂、さらに腐食進行
- D: 剥離と鉄筋の露出

### 塩化物のコンクリート内部への侵入

コンクリート劣化の主原因です。塩化物がコンクリート内部へ侵入すると、その一部は「固定化」して閉じ込められますが、他の部分は「遊離」塩化物としてさらに侵入が広まり、下記の段階（図）を追って普通鋼の鉄筋に達します。

1. 腐食イオン（通常は塩化物）のコンクリート内部への侵入。
2. 塩化物が普通鋼の鉄筋( $t_0$ )に達すると腐食が始まります。
3. 鉄よりも容積が大きい腐食物質により外向圧力がかかります。
4. コンクリートの亀裂が発生し( $t_1$ )、塩化物がより入りやすくなります。
5. コンクリートかぶりに亀裂が発生し（剥離）( $t_3$ )、鉄筋が露出されます。
6. 補修をしないと腐食が進行し、鉄筋が引っ張り応力に耐えられなくなると建造物が倒壊します( $t_4$ )。



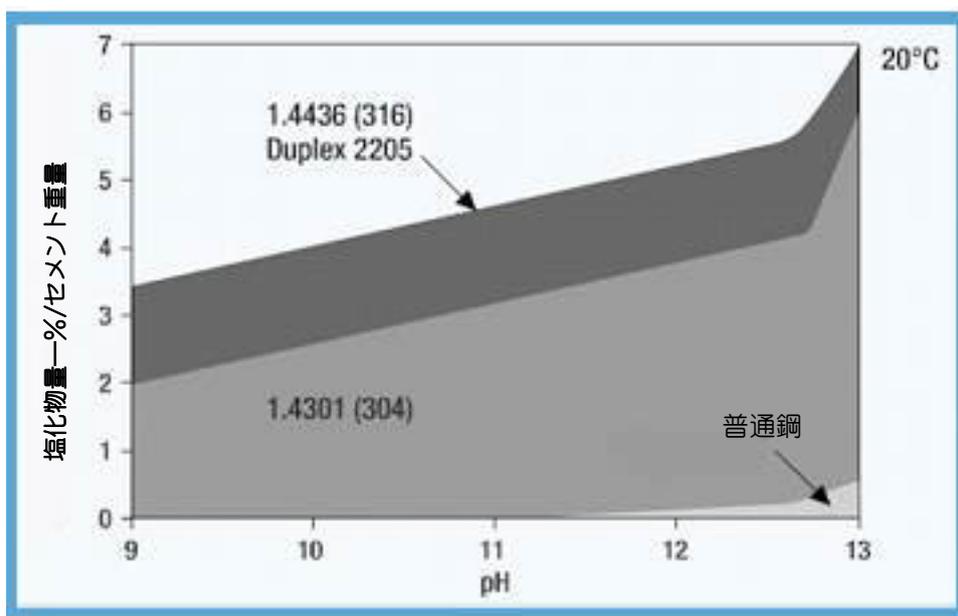
## 限界塩化物レベル (CCTL)

[8](<http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/Special-issue-stainless-steel-rebar-Acom.pdf>) これは鉄筋の腐食が始まる塩化物濃度です。その測定方法と数値については若干の意見の相違がありますが、炭酸化が発生していない場合には、普通鋼に関してセメント重量の 0.4% が一般的に認められています。

## 炭酸化と塩化物の相互作用

([http://durati.lnec.pt/pdf/TR/TR6.3\\_SS\\_final\\_pat.pdf](http://durati.lnec.pt/pdf/TR/TR6.3_SS_final_pat.pdf))

炭酸化は「固定」塩化物を解放し、普通鋼の鉄筋を腐食させる作用を持たせるので塩化物腐食をさらに悪化させます。また炭酸化は pH を下げ、これにより CCTL 値も低減させます。



## コンクリートの亀裂が腐食を助長

[10](<http://www.nachi.org/visual-inspection-concrete.htm>)

亀裂の発生には多くの原因があります。(次表参照)

毛割れはほとんど避けられず、また特に建造物の強度にも影響しないので容認されますがより大きな亀裂は、局部的に長い時間で腐食イオンが鉄筋に達する広い裂け目を発生させます。

勿論、亀裂をシール（密封）するのも 1 つの方法ですが、くぼんだ個所や隠れた場所には適用できず、またこの方法では亀裂が数年後にはまた発生してくる場合があるので補修作業の 1 つとなります。シーリング剤は腐食の発生を遅らせますが、永久には防止できません。

亀裂の種類	亀裂の形	主要原因	発生時期
沈下	上部と鉄筋に沿って	鉄筋付近の沈下、 コンクリート配合中の 余剰水分	10分から3時間
収縮	斜め、または非定型	過剰早期蒸発	30分から6時間
熱膨張または熱収縮	横割れ（例：舗装道路を 横断）	過熱または過度の温度 変化	1日から2～3週間
乾燥収縮	横割れまたは模様状	コンクリート配合中の 余剰水分、接合不良、接 合間隔が広すぎる	数週間から数ヶ月
凍結と融解	コンクリート表面と平 行に	不適切な空気混入、 耐久性のない粗骨材	最低1冬を越して
鉄筋の腐食	鉄筋の上	不適切なコンクリート かぶり、水分または塩化 物の流入	2年以上
アルカリ骨材反応	模様状亀裂、接合部また は端と平行に	反応性骨材と水分	通常は5年以上だが骨 材の反応性が高い場合 はより短期間で発生
硫酸浸食	模様状亀裂	外部または内部の硫酸 塩がエトリング石の形 成を助長	1年から5年

## 予測モデル

予測モデルは塩化物やCO<sub>2</sub>のコンクリート内部への侵入を推定するものです。基本的には、塩化物が鉄筋の表面でCCTL(Critical Chloride Threshold Level, CCTL)に達する時間を予測します。一般的に認められているCCTL値はコンクリート中のセメント重量の0.4%です。こうしたモデルは物理的メカニズムがモデルと同じで、インプット・データが正しい場合にのみ意味のある結果を出します。正しいインプット・データの収集には i) コンクリートの種類により拡散係数が大きく異なる（最大25倍の差異）、ii) 露出の程度、iii) 温度の相違、および iv) 亀裂の影響などの要因から難しい点があると思われます。

さらに、粗悪な施工により不測の事態が発生することもあります。

その結果、また選択肢を簡素化するために建築基準では簡潔なルールが適用されています。普通鋼に関して、欧州建築基準(Eurocodes)では下記が考慮されています。

- ・建造物の設計耐久年数（通常建物で50年、橋梁で100年）
- ・建造物が所在する環境

上記の2つの要因から最低限の鉄筋コンクリートかぶりが規定されています。

[11]([http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS\\_334\\_1/2010\\_Bridges\\_EN1992\\_GMancini\\_EBouchon.pdf](http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/WS_334_1/2010_Bridges_EN1992_GMancini_EBouchon.pdf))

[12]([http://www.ouest.cerema.fr/IMG/pdf/3\\_-\\_DUP\\_expo\\_et\\_prescription\\_-\\_GUIRAUD\\_cle5721e7.pdf](http://www.ouest.cerema.fr/IMG/pdf/3_-_DUP_expo_et_prescription_-_GUIRAUD_cle5721e7.pdf))

[13]([http://www.edelstahl-rostfrei.de/downloads/iser/MB\\_866.pdf](http://www.edelstahl-rostfrei.de/downloads/iser/MB_866.pdf))

耐食性ステンレス鉄筋の場合には余分なコンクリートかぶりは必要なく\*  
コンクリート使用量の削減と軽量化の面で大きなメリットが得られます。

\* : 国によって評価が異なる。

## ステンレスはどこに使うのか？

次のような用途にはステンレス鉄筋の検討をお勧めします。

### 腐食環境

#### ●海水および熱帯（後者の方がより環境が厳しい）

- 橋梁
- 埠頭
- ドック
- 街灯柱や手すりの固定部
- 防波堤、など

最も厳しいのは「しぶきを受ける箇所」、つまり頻繁に濡れと乾燥が繰り返される部分です。

#### ●融雪剤

- 橋梁
- 陸橋とインターチェンジ
- 駐車場

欄干と船橋甲板が特に腐食に曝されます。

### 汚水処理タンク

### 淡水化プラント

### 非常に耐久年数の長い内部建造物

- 歴史的建造物の補修
- 核廃棄物貯蔵

下記のような状況が分かりにくい環境

- 点検が不可能
- 補修がほぼ不可能か、非常に大きな費用がかかる

地震が多発する地域では、腐食による鉄筋コンクリート建造物の劣化は地震の際に建造物の倒壊を引き起こす可能性があるため許されません。

## なぜステンレスが良いのか？

### 長所は何か？

- ステンレスは塩化物イオンによる腐食に高い抵抗性があります。
- 鉄筋保護に関してコンクリートの高アルカリ性に依存していません。
- コンクリートかぶりを薄くできます。
- シランなどのコンクリート・シーリング剤が不要になります。
- 鉄筋の保護を考慮せずにコンクリートの設計ニーズに合わせてコンクリート配合を簡素化できます。
- 耐久性を向上させます。
- メンテナンスと補修を減らせます。
- リスクの高い部位にのみステンレスを選択的に利用すればコスト効率が良いです。
- 最終的にリサイクルされます。

### ステンレスと他の防食対策の比較

[14] ([http://www.concreteconstruction.net/how-to/repair/choices-in-corrosion-resistant-rebar\\_o](http://www.concreteconstruction.net/how-to/repair/choices-in-corrosion-resistant-rebar_o))

[15] (<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/98088/results.cfm>)

	利点	欠点
エポキシ樹脂	初期コストが低い	曲げると亀裂が発生する 架設の際の損傷を防ぐため注意が必要
亜鉛鍍金	初期コストが低い	曲げると亀裂が発生する 亜鉛が鉄よりも早く腐食し、亜鉛腐食の時点で防食効果が消失
繊維強化ポリマー	初期コストが低い、軽量	低弾性（低剛性） 曲げると亀裂が発生する 耐熱性がなく、冬場の耐衝撃性低い 徐々に品質劣化（経年劣化）？ 水分と温度変化による劣化？ 取り壊し後の廃棄処分への対応
陰極保護	初期コストが低い	総体保全のため慎重な設計が必要 適切な電気接触維持のため慎重な架設が必要 恒久的電流源（要モニターとメンテナンス）か犠牲陽極（要モニターと取替え）が必要となる

被膜	初期コストが低い？	慎重な架設が必要 長期の性能維持に疑問あり 水平な面に限定される
ステンレス鋼	ライフサイクルコストが低い 普通鋼と類似の設計が可能 普通鋼/ステンレス併用の 補強も効果的 粗悪な施工(コンクリートか ぶり不足、圧縮不足、不適 切な養生など)にも対応 低品質のコンクリートにも対 応 架設が容易 メンテナンス不要 耐用年数の限界なし コンクリートかぶりを薄く できる 優れた耐火性 100%リサイクル可能 耐食性があるため腐食による コンクリートの亀裂を回避	初期コストは高いが、それでも建造 物の総コストの数%に過ぎない

## 鋼種選択

Technical Center on Consulting for Cement and Concrete, Switzerland (セメント・コ  
ンクリート関連技術センター=スイス) の提言

(<http://www.tfb.ch/Htdocs/Files/v/5942.pdf/Publikationsliste/42VSS543englisch.pdf>.)

コンクリートの炭酸化									
鉄筋の鋼種	孔食指数	耐食	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	
			塩化物量 3)						
			0	0	低	低	中	高	
普通鋼黒皮鉄筋	0	0	+	-	+/-		(-)	-	
普通鋼エポキシ被膜鉄筋	0	?	4)						
普通鋼亜鉛めっき鉄筋	0	0/1	+	+	(+)	-	-	-	
Cr系SUS	5)	10-16	1	+	+	+	(+/-)	(+/-)	-

Cr-Ni 系 SUS および Cr-Ni-Mo SUS	17-22	2	+	+	+	+	+	(+)
Cr-Ni-Mo SUS	23-30	3	+	+	+	+	+	+
Cr-Ni-Mo SUS	>31	4	特殊な状況の場合、例えば 非常に高い塩化物含有量、高い塩化物含有量、その他の厳しい環境					

1) WS: 孔食指数は次の方法で計算:  $WS = \%Cr + 3.3\%Mo + 0\%N$   
EN10088 と Stahlschlüssel (ドイツ) の Cr と Mo の最低含有量を計算に使用。窒素含有量は考慮せず。

2) 塩化物含有量の影響が圧倒的。炭酸化はその比率も低いか、コンクリートかぶり厚いため重要度は低い。

3) 塩化物含有量

低位	セメント含有量の $\leq 0.6\%$
中位	セメント含有量の $\geq 0.6\% \leq 1.5\%$
高位	セメント含有量の $\geq 1.5\% \leq 5.0\%$
超高位	セメント含有量の $>5.0\%$

4) 分類は不確定で議論の余地あり。比較検討と判定は: 4.7 章参照

5) 低 Cr 含有量の Cr 系 SUS の耐孔食性の低下は pH の低下と共に急速に進む。そのためコンクリートかぶり厚みに依りコンクリートの炭酸化がある程度重要になる。

## BSSA (英国ステンレス協会) 特別レポートの提言

### BSSA (British Stainless Steel Association) Special report (2003)

[17] (<http://www.outokumpu.com/SiteCollectionDocuments/BSSARreport%20short.pdf>)

各種露出条件に対する鋼種選択	
下端、縁げた、地下連続壁、結合部や建造物で通常の塩化物に露出されるコンクリートに埋め込まれたステンレス	1. 4301 (SUS304 相当)
上記と同様だが耐久性の設計が表 3.7 に従い緩和されている場合	1. 4301 (SUS304 相当)
上記と同様だが、建造物の耐久年数全般にわたって防水性が保証できないなど、特定の建造物や部位に関する具体的な理由により耐久性の設計がさらに緩和されている場合	1. 4436 (SUS316L 相当)
合わせくぎ、固定くぎや他のコンクリートから突出していて、塩化物や塩化物を含有する水分に直接露出されている部位	1. 4429 (SUS316LN 相当) 1. 4436 (SUS316L 相当)
高強度の鉄筋の使用と全露出条件に対応できる具体的な構造的 要求がある場合	1. 4462 (SUS329J3L 相当) 1. 4429 (SUS316LN 相当)

但し、その後、現在はリーニ二相ステンレスが認められて広く使用されています。

[stainless properties](http://stainlesssteelrebar.org/stainless-properties/) (<http://stainlesssteelrebar.org/stainless-properties/>)

## ステンレスのコスト効率(経済性)は？

### 例 1 [18]

(<http://www.infociments.fr/publications/genie-civil/collection-technique-cimbeton/ct-t81>)

経済性の例 \*

道路橋の総建設費

使用材料	コスト道路橋建設費指数
100%普通鋼鉄筋	100
10% ステンレス鉄筋	103
25%ステンレス鉄筋	107.5
50%ステンレス鉄筋	115
100%ステンレス鉄筋	130

(\*) 上記の結果はフランスのセメント材料情報センター、CIMbeton の資料によるものです。使用ステンレス鋼種は 304 です。上記指数は材料の市場価格と鋼種により変動します。しかし、指数は道路橋建設の経験的、典型的な値を示しています。

### 例 2

プログレッツ埠頭は 1941 年にステンレス鉄筋を使用して建設されました。普通鋼鉄筋を使用したと仮定した場合との LCA/LCC の比較が行われました。これによると、ステンレス鉄筋の方が LCC で見ると安く、また地球温暖化 (GWP) への影響も少ないとの結果が出ました。

### 例 3 [20] (<http://www.stainlessrebar.com/docs/MTOssGuidelines.pdf>)

#### カナダ、オンタリオ運輸省

「ステンレスの利点はコンクリート/塩化物の環境下で腐食進行率が極端に遅いことです。75 年の耐用年数の間に予想される腐食による損傷は最低限です。ステンレスの購入価格は黒皮やエポキシ塗布の鉄筋よりもはるかに高いですが、黒皮やエポキシ塗布の普通鋼鉄筋に通常見られる腐食による損傷がステンレスには発生しないため、長期的にはコスト効率 (経済性) の面でも有利です。

例 4 [21]

(<https://www.cartech.com/en/alloy-techzone/technical-information/technical-articles/improving-to-morrow39s-infrastructure-extending-the-life-of-concrete-structures-with-solid-stainless-steel-reinforcing-bar>)

種々のデッキ鉄筋付き新築橋梁の初期コストと LCC の比較

鉄筋の種類	ECR 亜鉛めっき	MMFX 2	FRP	ステンレス	EnduraMet®32 ステンレス
デッキ・コスト（「基本」建造物の初期コストと比較して）	38.00%	39.14%	39.90%	42.18%	39.90%
鉄鋼コスト（「基本」建造物の初期コストと比較して）	31.00%	31.00%	30.50%	30.50%	30.50%
基礎工事費（「基本」建造物の初期総コストと比較して）	25.00%	25.00%	24.00%	24.00%	24.00%
盛り土等（「基本」建造物の初期総コストと比較して）	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%	6.00%
建造物総初期コスト	100.00%	101.14%	100.40%	102.68%	100.40%
推定耐用年数	40	50	65	100	100
耐用年数終了後のデッキ取替えの現在価値	9.89%	6.88%	3.93%	1.05%	1.00%
「基本」建造物の初期コストの%で見た 100 年の LCC	111.48%	108.02%	103.88%	103.74%	101.40%

例 5

[22]  
<http://www.concretebookshop.com/tr51-guidance-on-the-use-of-stainless-steel-reinforcement-1821-p.asp>

[23]  
<https://www.nickelinstitute.org/en/NickelMagazine/MagazineHome/AllArchives/2016/Volume31-1/FeatureLongerLifetimesForMajorBridges.aspx>

[24] ([http://americanarminox.com/NiDi\\_Rpt.\\_-\\_McGurn\\_-\\_Schaffhausen\\_Bridge\\_LCC.pdf](http://americanarminox.com/NiDi_Rpt._-_McGurn_-_Schaffhausen_Bridge_LCC.pdf))

ライン川にかかるシャフハウゼン橋は 1995 年に完成しました。この橋では大気腐食と融雪剤への対策が必要となります。この橋は構造的に問題なく、また大規模なメンテナンスも無しに 80 年持つことが求められています。

鉄筋に関して 3 つの選択肢が検討されました。

- ・普通鋼を使用：費用のかかる、大規模な補修が 25 年ごとに必要となり、その都度交通の大渋滞が発生する。
- ・エポキシ塗布普通鋼を使用：補修の規模は縮小されるがそれでも 25 年ごとの補修が必要となり、上記ほどではないが交通渋滞が発生する。
- ・普通鋼+重要な個所にステンレスを使用：設計耐用年数を満足する。

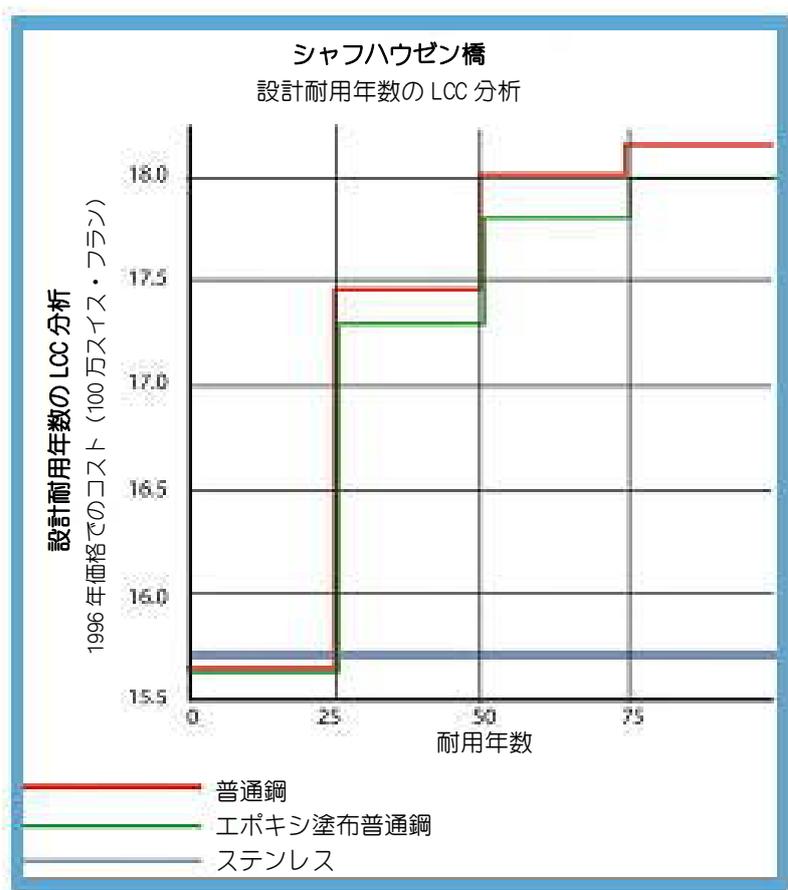
これらの 3 つの代替案のコスト比較を下記します。

適切なステンレスの使用によるコスト増はわずか 0.5%で、橋の耐用年数を通じて、その 30 倍もの経費節約が可能になります。

河川横断高速道路橋の LCC 概要

摘要	普通鋼	エポキシ塗布普通鋼	ステンレス
材料費	8,197	31,420	88,646
加工費	0	0	0
その他架設費	15,611,354	15,611,354	15,611,354
初期コスト (CHF*)	15,619,551	15,642,774	15,700,000
メンテナンス	0	0	0
取替	256,239	76,872	-141
生産低下	2,218,524	2,218,524	0
材料関連	0	0	0
運営費 (CHF)	2,474,763	2,295,396	-141
総 LCC (CHF)	18,094,314	17,938,170	15,699,859

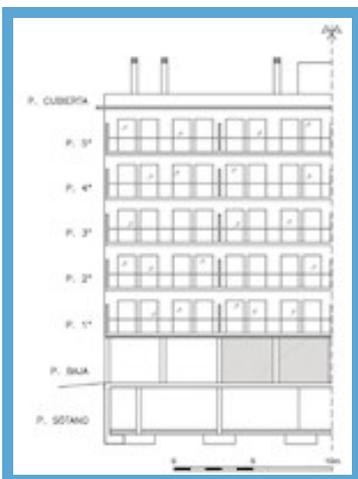
\* スイス・フラン



例 6 [Reference 25 Chapter 11]

([http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar\\_madurasaceroinoxidable.pdf](http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar_madurasaceroinoxidable.pdf))

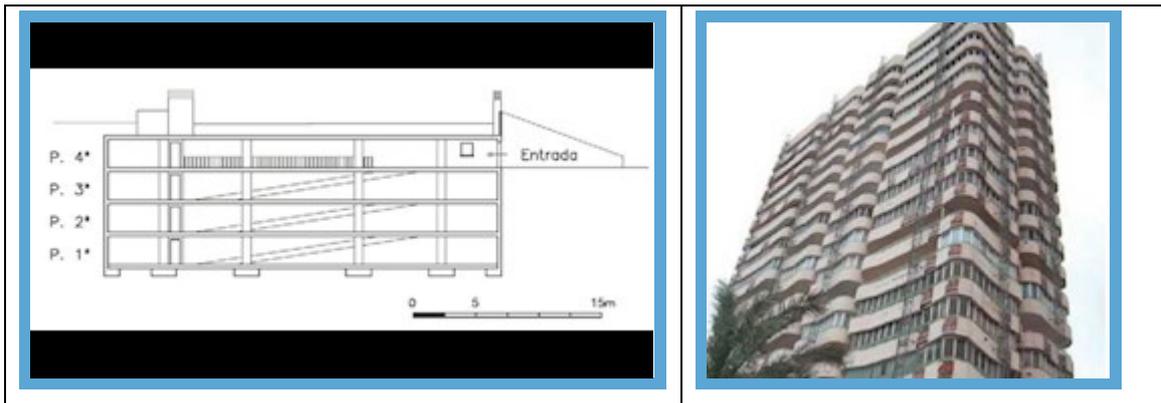
スペイン・アリカンテの18階建てアパート正面の補修の様子を示したものです (下の前面参照)。この築30年の建物は海の近くにあり、正面のパネルに亀裂が見られ、ステンレス鉄筋への取替が必要になりました。



### 例 7 [Reference 25 Chapter 12]

([http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar\\_madurasaceroinoxidable.pdf](http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar_madurasaceroinoxidable.pdf))

普通鋼とステンレスで補強された2つの建造物（アパートと地下駐車場）のコスト比較が行われています。アパートに関しては、最も露出が激しい個所にステンレスを使用した場合の建築費の増加は約9ユーロ/m<sup>2</sup>（約2.5%）です。普通鋼を全部ステンレスに置き換えるとコスト増は約6%になります。これは大規模なメンテナンス無しに耐用年数を伸ばせる利点を考えると大きな差ではありません。



### 耐火性 [25 Chapter 11]

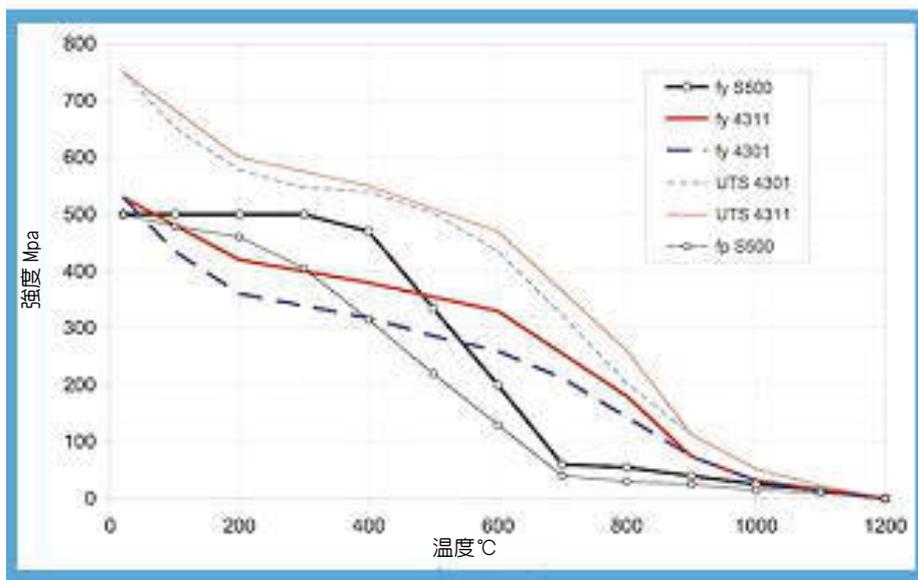
([http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar\\_madurasaceroinoxidable.pdf](http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar_madurasaceroinoxidable.pdf))

建築基準は、建物が崩壊する前に通常最低2時間の耐火性を備えるよう規定しています。

鉄筋コンクリート梁の主要な特徴の1つはコンクリートかぶり（鉄筋を覆う）です。

コンクリートかぶりを厚くするのも効果的ですが、これはあくまでコンクリートに大きな亀裂が入らず、コンクリートが劣化しない場合です。しかしこうした現象は時間が経つと腐食により発生すると考えられます。厚いコンクリートのもう1つの問題は「剥離」—つまり火災の際にコンクリートが割れたり、剥げたりすることです。これを回避する方法もありますがコストが増加します。( <http://www.interfire.org/features/spalling.asp> )

鉄筋コンクリートの耐火性を向上させる効率的な方法はステンレス鉄筋を使用することです。ステンレスの機械的性質は高温の環境でも普通鋼ほど影響を受けません。



注：EN1. 4311 (AISI304N)：ISSF のステンレス鉄筋データ、EN1. 4301 (AISI304)  
欧州建築基準データ

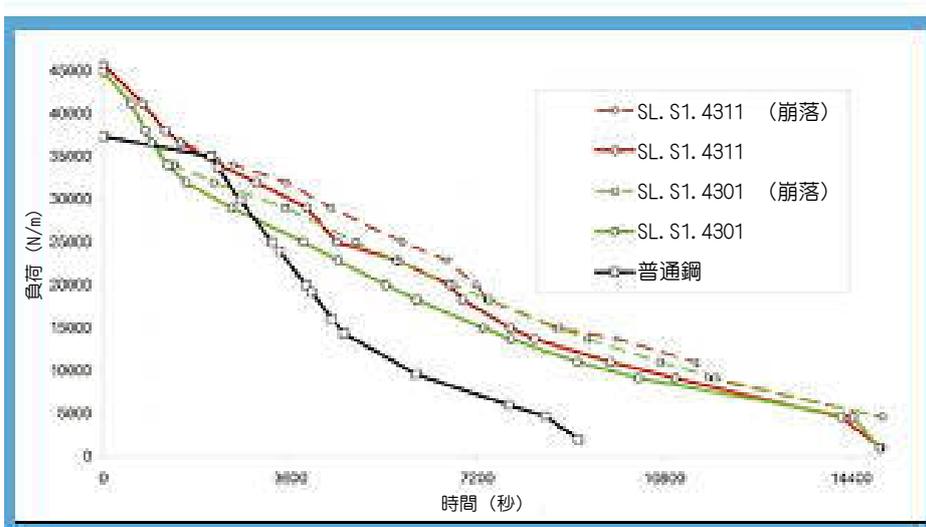
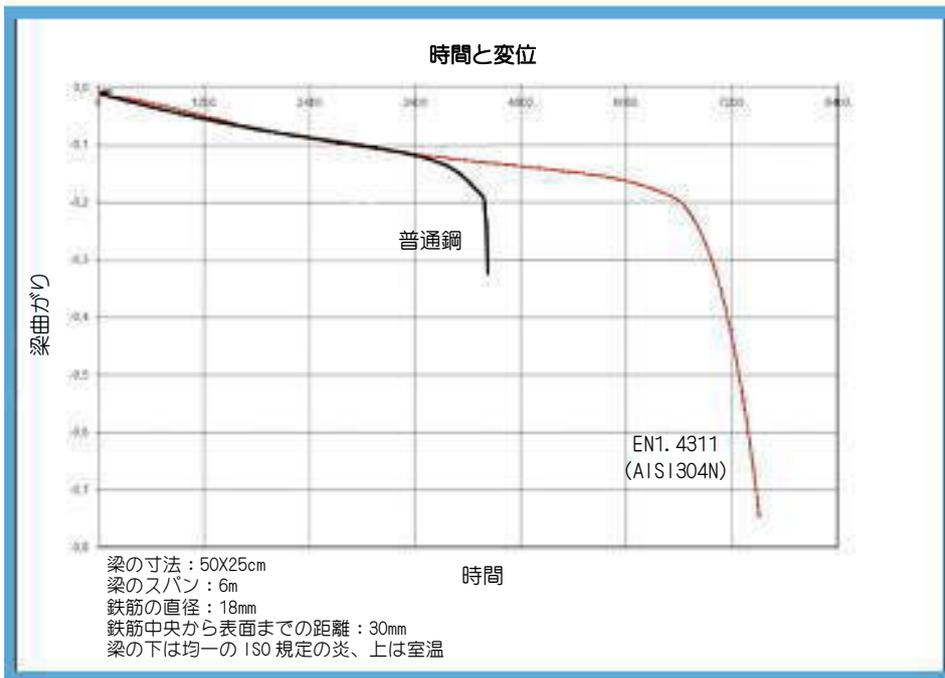
## コンピューター・シミュレーション

([http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar\\_madurasaceroinoxidable.pdf](http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/publicaciones-tecnicas/59ar_madurasaceroinoxidable.pdf)) コンピューター・シミュレーションはステンレス鉄筋の梁の耐火性が普通鋼に比べはるかに優れていることを示しています。

コンピューター・シミュレーションで得られた下記のカーブはそれぞれ普通鋼とステンレス (EN1. 4311-AISI 304 N) で補強されたコンクリートの梁が火災 (IS0834 規格—セルコース系の炎を使用) の際、負荷がかかった状態でどう曲がるかを示すものです。

([http://images.google.fr/imgres?imgurl=http://az668117.vo.msecnd.net/~media/images/promat/segment/tunnel/page%2520content/advice/fire%2520protection/curves/grafiek-cellulosic%252002.ashx%3Fla%3Den&imgrefurl=http://www.promat-tunnel.com/en/advice/fire-protection/fire%2520curves&h=518&w=976&tbnid=ZjsnZi5bUo88iM:&tbnh=90&tbnw=170&usg=\\_\\_xMltec6qQVvo2CQ6P5s67vKKYjk%3D&docid=UaykKE1jvwsG7M&sa=X&ved=0ahUKEwivsc3I26vJAhXFMhoKHcwwBbYQ9QEIJTAD](http://images.google.fr/imgres?imgurl=http://az668117.vo.msecnd.net/~media/images/promat/segment/tunnel/page%2520content/advice/fire%2520protection/curves/grafiek-cellulosic%252002.ashx%3Fla%3Den&imgrefurl=http://www.promat-tunnel.com/en/advice/fire-protection/fire%2520curves&h=518&w=976&tbnid=ZjsnZi5bUo88iM:&tbnh=90&tbnw=170&usg=__xMltec6qQVvo2CQ6P5s67vKKYjk%3D&docid=UaykKE1jvwsG7M&sa=X&ved=0ahUKEwivsc3I26vJAhXFMhoKHcwwBbYQ9QEIJTAD)).

梁の曲がりには負荷に耐えられなくなるまで時間 (および梁の温度) とともに増加します。ステンレスは梁が崩落するまでほぼ 2 倍の時間がかかります。さらに、伸び率の大きいため梁の破断が次第に発生するので危険が迫っている警告にもなります。



ステンレス鉄筋の使用により崩落までの時間が長くできる利点はコンクリートかぶりを厚くすることへの魅力的な代替策となります。

- ステンレス鉄筋の使用は建造物の重量を増加させないので、部材への負荷も増えません。
- ステンレス鉄筋の使用により腐食が発生しやすい建造物の耐火性が維持されます。

## ステンレス鉄筋の特性（鋼種、規格、特性、…）

### 規格

現在使用されている主要なステンレス鉄筋の規格はBS6744（英国）[\[26\]](#) (<https://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=000000000030320588>) とASTM A955 (<http://www.astm.org/>) (USA) [\[27\]](#) (<https://www.astm.org/Standards/A955.htm>) ですが、他にもXP135014（フランス）などがあります。他の国は普通鋼の規格をそのまま使用するか、場合によりSIA262（スイス）やDIN488（ドイツ）の様に若干の調整を行っている事例もあります。

### 鋼種

ステンレスのタイプ	BS6744 EN 鋼種	ASTM A955 UNS 鋼種	ASTM A955 タイプ
Mn 含有オーステナイト系	-	S24000	XM29
	-	S24100	XM28
標準のオーステナイト系	1. 4301	S30400	304
	1. 4436	-	-
	-	S31603	316
	1. 4429	S31653	316LN
二相ステンレス	1. 4162	-	-
	1. 4362	-	-
	1. 4462	S31803	-
	1. 4501	-	-
スーパーオーステナイト系	1. 4529	-	-

重要なお知らせ：他の鋼種も CARES の承認を得て販売することができ、EN1. 4482 (X2CrMnNiMoN21-5-3) もその1つです。

BS6744 引張強さ	0. 2%耐力 Mpa 以上	引張強さ/0. 2%耐力 以上	破断時の伸び % 以上	最大応力時の伸び % 以上
グレード 200	200	1. 1	22	5
グレード 500	500	1. 1	14	5
グレード 650	650	1. 1	14	5

## 引張特性

ASTM A955	Grade 40[280]	Grade 60[420]	Grade 75[520]
耐力 Mpa[ksi]以上	280[40]	420[50]	520[75]
引張強さ Mpa[ksi]以上	500[70]	620[90]	690[100]
伸び %以上	20	20	20

ステンレス鉄筋は通常、建造物の重要な部分用に選択されます。ステンレスと普通鋼を一緒に使用しても特に悪影響はありません。

[28] ([http://www.stainlessrebar.com/docs/galv\\_coupling\\_bertolini.pdf](http://www.stainlessrebar.com/docs/galv_coupling_bertolini.pdf))

[29] ([http://www.arminox.com/Files/Filer/Arminox%20doks/Arminox\\_Corro\\_Aspects\\_Report\\_web.pdf](http://www.arminox.com/Files/Filer/Arminox%20doks/Arminox_Corro_Aspects_Report_web.pdf))

[30] ([http://www.hydrorelief.org/frackdata/references/carbonsteel\\_stainless\\_reinforcemens\\_nrcc46634.pdf](http://www.hydrorelief.org/frackdata/references/carbonsteel_stainless_reinforcemens_nrcc46634.pdf))

## ガイダンス

規格 BS6744[26] (<http://shop.bsigroup.com/ProductDetail/?pid=00000000030168129>)は様々な使用条件に適したステンレス鋼種に関する助言を提供しています。

表1：様々な使用条件に対応するステンレス鉄筋の使用に関するガイダンス

BS EN 10088-1 による鋼種	使用条件			
	設計耐用年数が長い、または将来のメンテナンスが行き届かない建造物や部位	設計耐用年数の緩和がなく、塩化物汚染に露出されている建造物や部位 (例えばコンクリートかぶり、品質、防水処理、などの要求)	結合部を結ぶか、コンクリート表面から進入し、かつ塩化物汚染に露出されている補強部分 (例えば合わせくぎや固定ボルト)	通常の耐久性の要件が軽減されている塩化物汚染に露出されている建造物 (例えばかぶりを減らしたり、コンクリートの品質を落としたり、防水処理を省略している)
1.4301 (SUS304 相当)	1	1	5	3
1.4162 (二相ステンレス)	1	1	5	3

BS EN 10088-1 による鋼種	使用条件			
1. 4436 (SUS316L 相当)	2	2	1	1
1. 4429 (SUS316LN 相当)	3	2	1	1
1. 4362 (SUS323L 相当)	2	2	1	1
1. 4462 (SUS329J3L 相当)	2	2	1	1
1. 4529 (スパーオーステナイト系)	4	4	4	4
1. 4501 (二相ステンレス)	4	4	4	4
<p>凡例</p> <p>1－防食とコスト面で適切な選択</p> <p>2－用途に対して防食の面でオーバースペック</p> <p>3－適切な場合もあり、専門家の助言を得ること</p> <p>4－腐食関連専門家と協議した上で特殊用途への適正な鋼種として決定すること</p> <p>5－用途には不適切</p>				

リーニ二相ステンレス（1. 4162、1. 4362）の使用も増加しています。

- ・現在は容易に入手可能になっています。
- ・多くの場合、資本コストに対する最高の費用対効果が得られるので好ましい選択肢になっています。

### その他の参考文献

コンクリート建造物でのステンレス鉄筋の使用ガイド（2006年発行）

[31] (<http://sintef.biz/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/prrapp-405.pdf>)

ステンレス鉄筋の出荷、取り扱い、加工および保管のガイドライン

[32] ([http://www.ssina.com/download\\_a\\_file/rebarbroc.pdf](http://www.ssina.com/download_a_file/rebarbroc.pdf))