

建築・土木科 講師用補助教材

第3章

なぜステンレスを選ぶのか

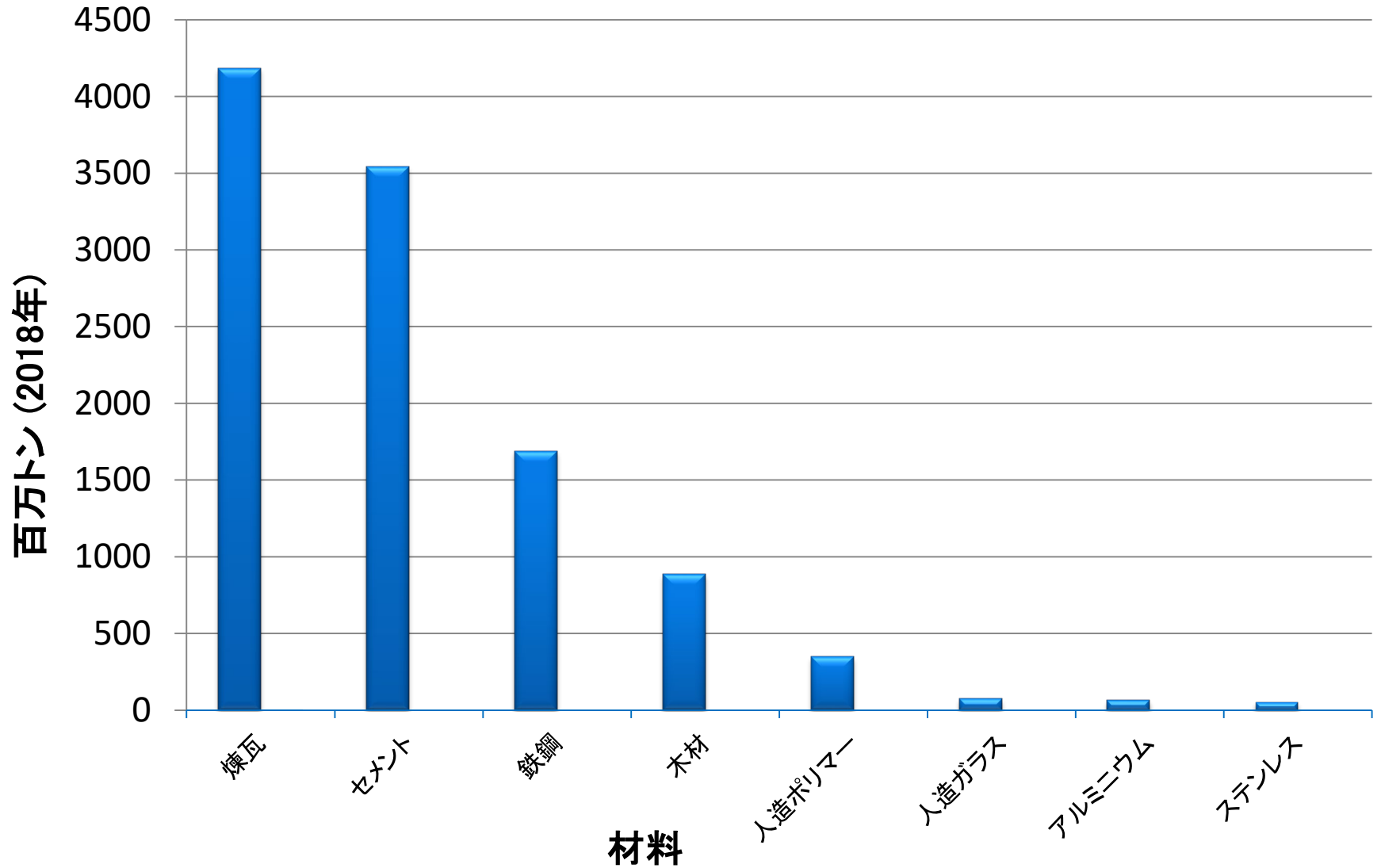
序文

現在、建築、ビルや建設に
使用されている主要材料

今日の主な建築用材料

材 料	世界の生産量 〈百万ト/年〉 201年	平均 密度	備 考
練土	?		土を強く突き固める工法。黄河地域などで古くより採用され、法隆寺の築地塀などの例も現存。
煉瓦 ³ Traditional production is very polluting and unhealthy	4185	2, 0	生産量は2017年のもの 87%がアジアで使用されている
セメント ⁴	3545	2, 4**	生産量は2018年のもの (コンクリートの数値を求めるには3-4倍する。) **コンクリート密度
鉄鋼 ⁵	1690	7, 8	(2018年粗鋼生産) 14%がインフラ向け、その半分が鉄筋 ¹⁰ 42%が建材 ¹²
木材 ^{6, 11} Deforestation keeps gaining ground	887	0, 5	生産量は2016年のもの
人造ポリマー ⁷	348	1, 1	伐採木材+木材-パネルベースのみ (2016年統計) パルプ材を除く (約656百万ト) 木炭 (約1860百万ト) & その他木材製品を除く
人造ガラス ⁸	75	2, 6	一部自然由来ポリマー: セルロース、ゴム、絹、キチン質 (甲殻類の殻) 数値は2018年
アルミニウム ⁹	64	2, 7	(2018年一次アルミ生産量) 24%が建材用途
ステンレス ¹⁰	51	7, 8	生産量は2018年のもの 17%が建材用途 ¹⁰

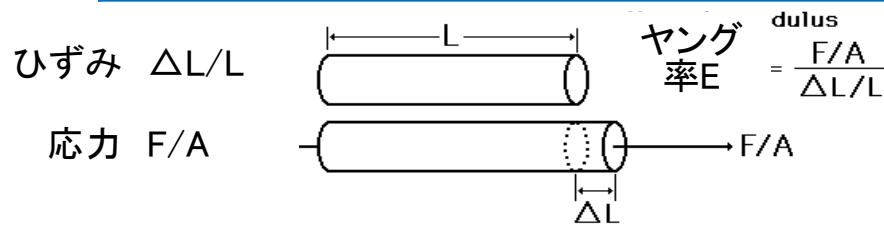
今日の主な建築用材料



主要材料におけるヤング率 E^{12} (剛性)

材料	ヤング率 E (GPa)
鉄鋼材料	~210
ステンレス鋼	~210
銅	~130
チタン	~100
アルミニウム	~70
コンクリート	~40
木材	~10
プラスチック	~4

ステンレス鋼は
鉄鋼材と同等の
剛性を持つ



建築材料における強度/重量比¹³

ステンレス鋼は鉄鋼材料、
アルミに匹敵する
強度/重量比を有する

材料	耐力(YS)/比重	降伏応力 Mpa	限界引張強度 Mpa	比重 (Kg/dm ³)	伸び %
ステンレス 304 or 316, 焼鈍材	26	205	515	7,8	35
ステンレス 304 or 316, 硬化処理材 CP 350	45	350	-	7,8	-
ステンレス 304 or 316, 硬化処理材 CP 500	62	480	-	7,8	-
ステンレス 二層系 2205	64	500	700/950	7,8	20
ステンレス 630, 時効処理材	103	800	950/1150	7,8	10
炭素鋼 熱延材	30	234	317	7,8	35
構造鋼 (鋼板、棒鋼)	32	250	400/550	7,8	23
HSLA 鋼	49	380	460	7,8	25
工具鋼 4140 Q&T	96	750	930/1080	7,8	12
アルミニウム合金 3003- H14	37	145	150	2,7	40
アルミニウム合金 3105- H14	38	150	170	2,7	5
アルミニウム合金 5005- H16	44	170	180	2,7	5
アルミニウム合金 6061- T6	71	275	310	2,7	12
アルミニウム合金 6063- T5	37	145	185	2,7	12
銅合金	23	195	250	8,3	30

各種材料の簡易的比較¹⁴

		ステンレス鋼			銅合金	アルミ	炭素鋼	プラスチック
特徴		EN 1.4521 AISI 444	EN 1.4301 AISI 304	EN 1.4401 AISI 316				
物性	密度	-	-	-	--	+	-	++
	線膨張係数	++	0	0	0	-	+	--
	電気伝導率	--	-	-	+++	++	0	---
	強磁性	YES	NO	NO	NO	NO	YES	NO
機械特性	剛性(ヤング率)	+++	+++	+++	+	-	+++	---
	引張強さ	+	++	++	0	-	+ / ++	--
	延性	+	+++	+++	+++	++	0	-- / +++ +
その他	製造性	++	++	++	+	0	++	-
	高温特性	++	++	+++	0	-	+	---
	低温特性	-	+++	+++	+	0	-	-
	耐食性	+++	+++	++++	++	+	--	+

+ 優位性 - 弱点特性 (他の材料との比較)

ステンレス鋼は 「若い」材料

時代と共に新しい材料が出現 ステンレスが最も新しい材料*

材 料	年 代	
練土		人類誕生以来使用されてきた！
木材 ¹		人類誕生以来使用されてきた！
煉瓦 ¹	7500 BC 4500 BC	焼成煉瓦／陶器
鉄鋼 ¹	4000 BC 1858	鍛冶屋 ベッセマー・プロセス
人造ガラス ¹	3500 BC 100 BC 1950	ガラス製造の始まり 透明ガラス フロート・ガラス・プロセス
アルミニウム ¹	1825 1886	エルステッドがアルミを発見 ホール・エルー・プロセス
鉄筋コンクリート ¹	1850 1885	セメントの方がはるかに歴史が古い 回転炉プロセス
人造ポリマー ¹	1846 1907 1939	セルロイド ベークライト ナイロン
ステンレス ²	1912-1913 1954 1955	初期の合金 AODプロセス 熱延鋼帯

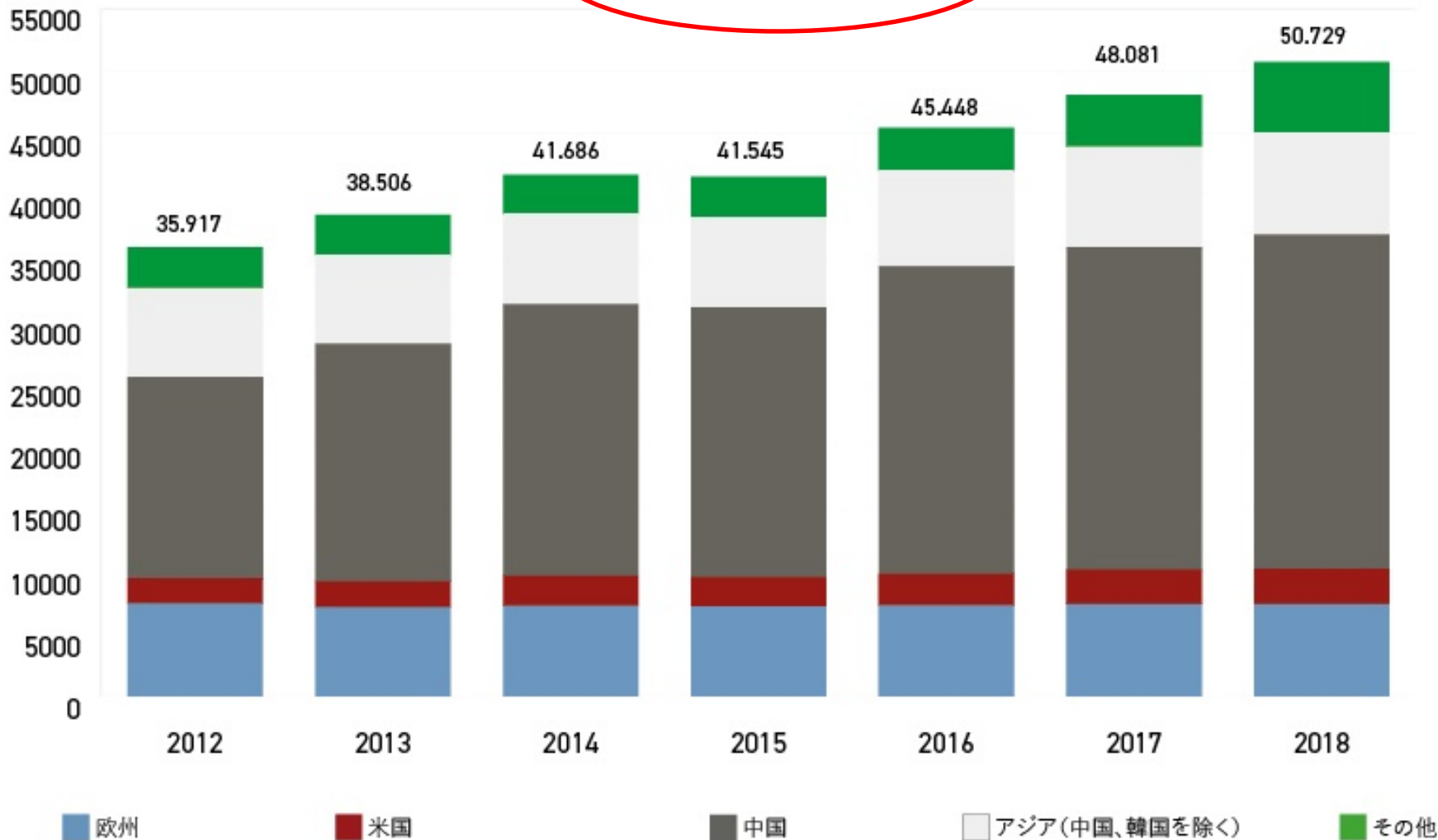
*より新しい材料もあるがまだ有意な使用量に至っていない。

地域別の世界ステンレス鋼生産量

UPDATED
2019!

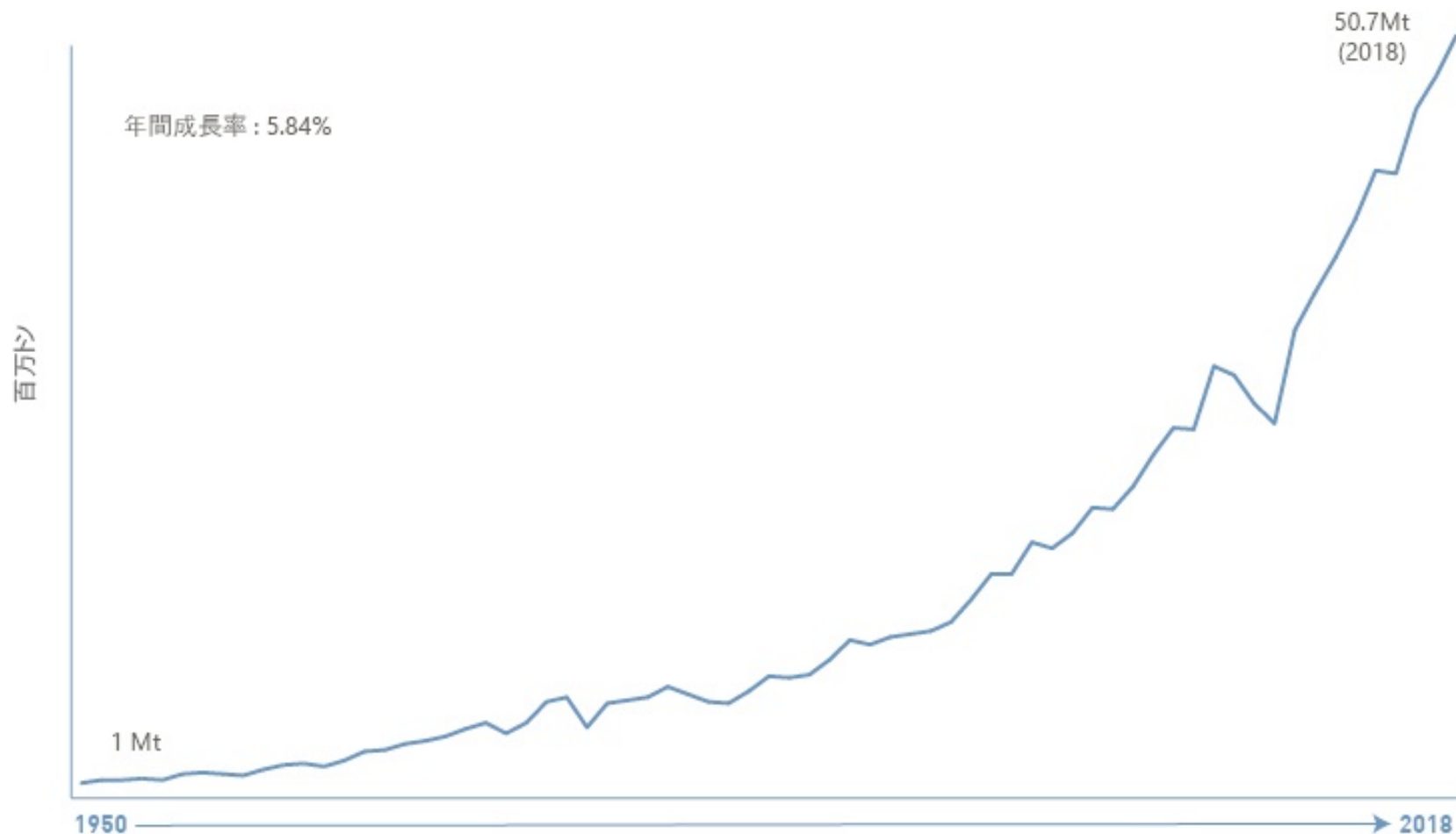
地域別製鋼ベース生産量,千トン(スラブ/インゴット含)
その他地域:ブラジル、ロシア、南アフリカ、韓国、インドネシア

需要は増加傾向



世界粗鋼生産量の年間成長 ²² (百万トン)

UPDATED
2019!



なぜステンレスを 選ぶのか？

なぜステンレスを選ぶのか？

→ 優れた優位特性

1. **耐食性** (第3章参照)
 - 全環境に対応：熱帯から極地まで、海岸から砂漠まで、都市環境から田舎環境までなど
 - 塗装とは異なり、自己修復性を示す
2. **永続性** ほぼメンテナンス不要
3. **幅広い機械的特性** 数種のステンレス鋼種系列より最適鋼種を選択可能
(Cr-Ni オーステナイト系、Cr-Mn オーステナイト系、Cr フェライト系、二層系、Cr-C マルテンサイト系)
現在では主要な建築基準にも含まれている
さらに耐火性能にも優れる (第4章、5章参照)
4. **多様性**: 幅広い表面仕上げ、色調の選択肢 (第6章参照)
さらに、公共の場での利用における耐久性も期待できる
5. **製造/接合が容易** (第9章参照)
6. **優れたサステナビリティ** (第11章参照)
 - メンテナンスをほぼ行わずに永続的に使用可能
 - 100% リサイクル可能 (85%以上がリサイクルされている)
 - 廃却時においてもその特性を失わない
7. **安全、衛生的**: 不活性、不純物を含まず、清掃・消毒が容易
8. **その他特性**: 強磁性、非磁性など

ステンレスが採用されない理由 → イニシャルコストが高い

【質問】

ステンレス鋼は高価であると思いますか？

【回答】

ステンレス鋼は“高価である”と同時に、“安価な材料”として扱うこともできる

Yes:

材料のイニシャルコストの観点からは確かに高額となる（とくに投資判断において）
しかし、材料選択において、誤った選択をすると非常に高額となる

- ステンレス鋼の使用料は物件トータルで見ると少ないことが多い
- 早すぎる更新やメンテナンスは直接的、間接的に大きな費用発生を伴う

No:

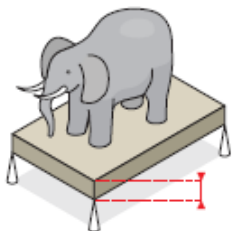
- ライフサイクルコスト*の検討；メンテナンス、劣化更新、リサイクルなど
- 最適な設計；断面形状を検討し材料の薄肉、軽量化を図る

* 管理者にとっては常にライフサイクルコストによる評価が成されるべきである

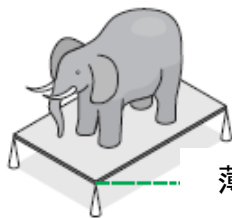
ステンレス(又はその他金属材料) は材料の使用料が少ない ¹⁶

【材料コストの削減】

金属材料は剛性が高いため、非金属材料に対して薄肉化が可能となる。従って、より少ない材料にて必要な強度を得ることができる。



非金属材料

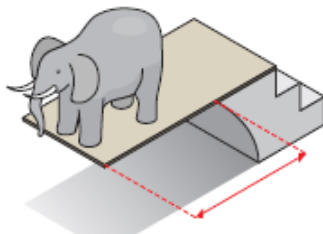


薄肉化
可能

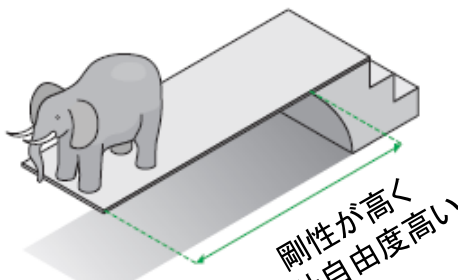
金属材料

【設計自由度が高い】

金属材料は剛性が高いため、より少ない拘束、支持にて必要な強度を得ることが出来る。このため、より自由な設計が選択可能となる。



非金属材料



剛性が高く
設計自由度高い

金属材料

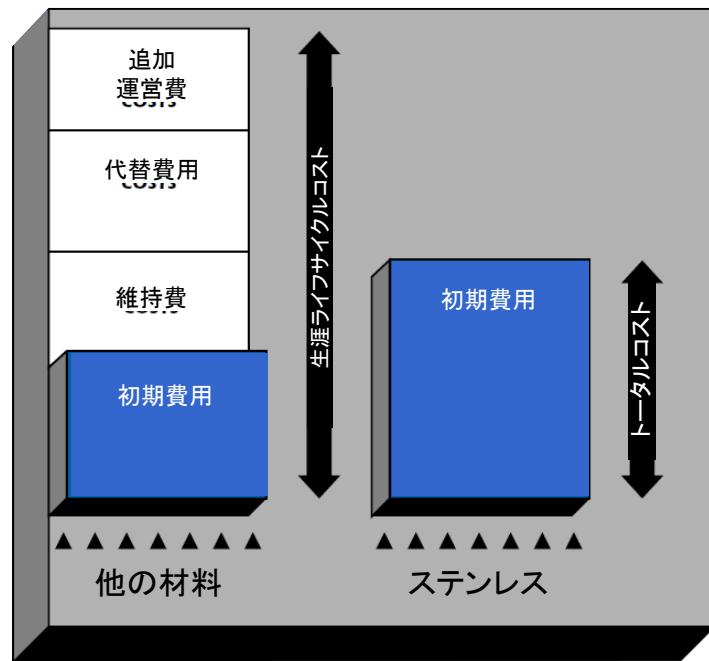
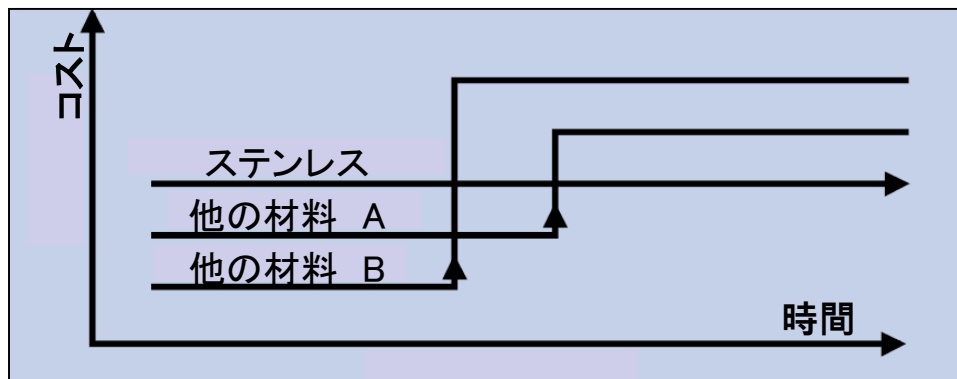
厚さ0.4mm、0.6mm程度のステンレス薄板が主に使用されている

重量 3.12kg/m² (t0.4mm)
4.68kg/m² (t0.6mm)

※非常に軽量！

なぜLCCを考慮すると ステンレスが高価でないのか

他の材料で作られた建造物のコストは時間の経過とともに大幅に増加するがステンレスの建造物のコストは一般的に一定とされている



腐食のコストは米国だけで1,370億ドル超となっている¹⁴

2つの古い建造物のLCC比較

建造物

完成年

材料

高さ

メンテナンス

エッフェル塔
パリ*

1889

錬鉄

324m

7年毎。塗装作業は毎回約1.5年
(15月)かかる。
塗料50-60トン、塗装作業者25名、
ブラシ1500本、やすり盤5000個、
作業着1500着。



クライスラー・ビル
(屋根と入口)
ニューヨーク

1930
(屋根1929)

オーステナイト系
ステンレス
(鋼種: 302)

319m

1951年と1961年の2回。
1961年の洗剤は不明。1995には
中性洗剤、脱脂洗剤と研磨剤が
使用された。



*エッフェル塔はステンレスが発明される前に建築され、当初は臨時の建造物だったが民衆に好評を博した。

【事例】橋のメンテナンス比較^{20,21}

- ゴールデン・ゲート・ブリッジ
(サンフランシスコ、USA)
- ストーンカッター・ブリッジ
(香港、中国)

ゴールデン・ゲート・ブリッジ 20



「鉄工員13人と鉄工員助手3人、塗装作業員28人と塗装助手5人および橋梁塗装主任というたくましいグループが腐食の進行している鉄橋材を補修するためにしばしばゲートの頂上近くに宙づりになり風、海気および霧と戦っている。鉄工員は腐食の進行している鉄橋材とリベットを高張力鋼のボルトに置き換え、橋で使用出来るよう軽度な加工を行い、塗装作業員の足場作りに協力する。さらに鉄工員は塗装作業員が橋を構成する橋脚や翼弦の内部まで入れるように厚板や棒材を撤去する。塗装作業員は橋全体の表面を整備し、腐食している部分すべてに再塗装を行う。」²⁰

ストーンカッター・ブリッジ (2009) 21



プロジェクト詳細:

全長1,596m、片側3車線の高強度斜張橋、純径間1,018m、台風に耐えられる設計。

材料:ステンレス EN1.4462(二相鋼)降伏応力450MPaの厚板が搭橋上部(175mから295mの頂上まで)と搭橋表面に使用されている。

ステンレス鋼の選定理由:暑く汚染された海水環境で橋梁耐用年数120年を目指した。メンテナンスフリーを志向した設計となっている。²¹

主要参考サイト

1. <http://worldstainless.org/>
2. (a) <http://www.hablakilns.com/the-brick-industry/the-brick-market/>
(b) http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_weight_of_a_red_clay_brick_in_Kilograms
3. CEM bureau <https://cembureau.eu/cement-101/key-facts-figures/>
4. (a) <https://www.worldsteel.org/> (b) www.globalcastingmagazine.com
5. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/F0>
6. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/market-data>
7. (a) <http://www.glassforeurope.com/en/industry/global-market-structure.php>
(b) <https://www.statista.com/statistics/609964/flat-glass-market-key-info-globally-projection/>
8. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-production/>
9. http://worldstainless.org/statistics/crude_steel_production
10. <http://www.withbotheyesopen.com/>
11. <http://www.ssina.com/overview/markets.html>
12. <http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/cueddatabooks/materials.pdf>
13. http://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistanceI_14057a_.pdf
14. <http://www.aperam.com/>
15. Wikipedia
16. <https://european-aluminium.eu/media/1310/en-metals-for-buildings-essential-fully-recyclable.pdf>

主要参考サイト(続き)

17. US Federal Highway administration reports FHWA-RD-01-156 and 157
www.corrosioncost.com
18. a) <https://www.toureiffel.paris/en> b) <http://corrosion-doctors.org/Landmarks/Eiffel.htm>
19. a) http://en.wikipedia.org/wiki/Chrysler_Building b)
https://www.nickelinstitute.org/library/?opt_perpage=20&opt_layout=grid&searchTerm=1023&page=1
20. <http://goldengatebridge.org/research/facts.php#IronworkersPainters>
21. https://www.worldstainless.org/files/issf/non-image-files/PDF/Structural/Stonecutters_Bridge_Towers.pdf
22. http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2019_English_public_version.pdf

Thank you