

ステンレス建築構造の一般認定と実用化

田辺 憲一 / (社)ステンレス構造建築協会

1. はじめに

20世紀初めに誕生したステンレスが、わが国で本格的に生産されるようになったのは、1960年代にはいつてからである。その後の製造技術の進歩はめざましく、いまやわが国は世界一のステンレス生産国となった。

市場においては、主に薄板主導権型の発展であり、建材分野でも仕上げ表面の美しさや耐食・耐久性の特長を活かして、建物の内外装用の仕上げ材を中心に幅広く普及してきた。しかし、構造材として優れた特性を備えているにもかかわらず、建築物への適用はこれまで僅かであった。その理由の一つとして、ステンレスを建築構造材として一般的に使用することが法的に認められておらず、建築基準法に従って建物ごとに建設大臣の認定（個別認定）を必要としてきたことが挙げられる。この課題を解決するため、長年にわたる研究開発を重ね、「ステンレス建築構造設計施工基準」並びに関連の規程・基準類を整備した。さらに、建設大臣の一般認定を取得し、従来の個別認定手続きの簡素化が可能となった。

本稿は、ステンレス建築構造に関する技術開発から一般認定に至るまでの経緯、その間に実施された研究開発の概要および実用化への活動等を紹介するものである。

2. ステンレス構造材の需要動向

一般的に、建築物の柱、はり等の主要な構造部材を建築構造材と呼んでいる。これまで、ステンレスの構造材への適用は、大型サッシ等の準構造材や土木用を含めても、年間10万トン程度と推定される。

近年、ステンレスの建設用需要が増加傾向にあり、内需に占める割合は、17%余りに達していると推計されるが、そのうち約70%は、内外装材や仕上げ金物等である。今後は、建築構造としての用途開発や普及活動が活発化することによって、構造材の伸びが予測され、周辺分野への波及効果を合わせて年間30万トン程度の構造材需要が期待されている。

3. 研究開発の経緯

3・1 構造設計施工基準（案）の完成

ステンレスを建築構造材として使用するには、建築基準法に規定されている鋼材と同等以上の性能があることを、材料面のみでなく、設計、施工等のあらゆる面から確認し、建設大臣の認定を得なければならない。1984年、ステンレス協会内に「構造材特別委員会」を設置して、「構造設計施工基準」の作成方針を決定した。1986年には、大学、メーカーを主体とした「ステンレス建築構造設計施工基準作成

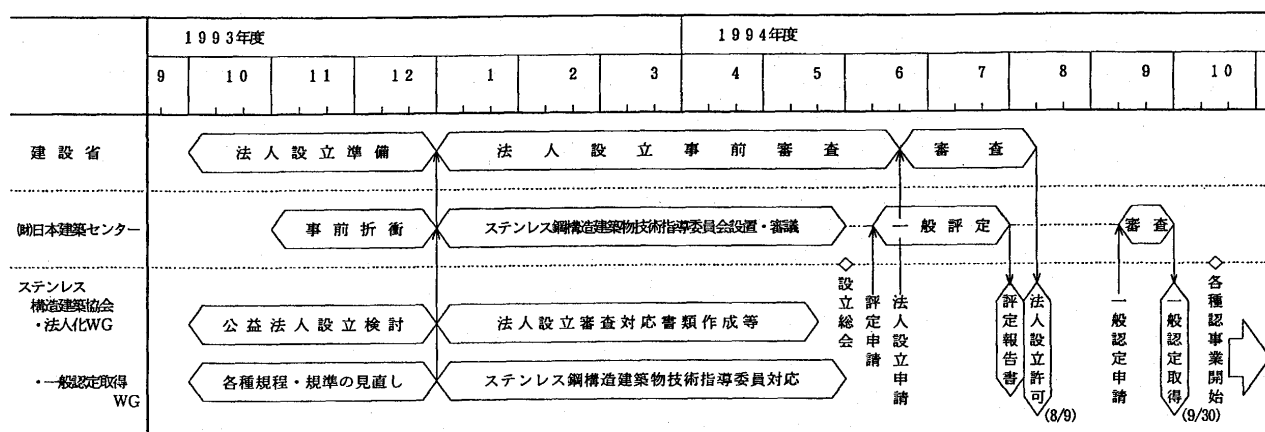
表1 「総プロ」における主な研究開発課題²⁾

分類	主な研究開発課題
1. 素材の性能に関する研究	1) ステンレス鋼の機械的性質に関する統計的評価 2) 素材の応力-ひずみ関係の定式化
2. 部材の力学性能に関する研究	1) 中心圧縮材の曲げ座屈試験 2) H形断面曲げ材の横座屈耐力 3) H形断面を有する部材の局部座屈 4) 円形中空断面・箱形中空断面を有する部材の局部座屈 5) 局部座屈を伴うはり・柱部材の最大耐力と変形性能
3. 接合部の力学性能に関する研究	1) H形断面部材を用いた柱はり接合部の耐力と変形性能 2) 箱形断面柱とH形断面はりによる柱はり接合部の耐力と変形性能 3) はり継手(柱継手)の耐力 4) 露出柱脚の耐力と変形性能
4. 接合要素の性能に関する研究	1) 突合せ溶接継手の耐力と確性 2) 異種鋼材間の突合せ溶接継目の耐力と確性 3) 高力ボルトの接合性能評価 4) 高力ボルト遅れ破壊特性評価
5. 耐火設計に関する研究	1) ステンレス鋼の高温特性 2) ステンレス鋼構造物の火災時挙動
6. 薄板の設計規程に関する研究	1) ステンレス鋼薄板の力学性状
7. 施工管理に関する研究	1) 非破壊検査技術の確立 2) 施工管理体制の整備
8. 耐久性に関する研究	1) ステンレス鋼の耐候性調査

表2 「設計施工基準」と「利用技術指針」における適用範囲

	「設計施工基準」	「利用技術指針」
建物規模	中小規模建物 ・階数 3階以下 ・高さ 15m以下 ・スパン 20m以下 ・延床面積 3000m ² 以下	建築基準法施行令の規定による高さ31m以下の建物
ステンレス鋼種	・PS235-SUS304 ・PS235-SCS13A-CF	・PS235-SUS304 ・PS235-SCS13A-CF ・PS235-SUS316 ・PS235-SUS304N ₂

図1 法人化・一般認定取得までの経過



委員会」が正式に発足し、建設省の指導・協力のもとに本格的に利用技術に関する研究開発を開始した。対象鋼種はオーステナイト系ステンレスSUS304（18-8系ステンレス）とし、中小規模建物への適用を当面の目標とした。

この研究開発の結果、1989年に「ステンレス建築構造設計施工基準・同解説」（案）を作成した。さらに、この「設計施工基準」を適用して、実際に健全な建物ができることを検証するため、2例の試設計と5件の実物件の建設を実施した。また、建物の構造安全性を長期にわたって担保するための加工施工管理体制の基盤が構築された。

3.2 建設省「総プロ」への参画

1988年から建設省の主導で始まった「総合技術開発プロジェクト：新素材・新材料の利用技術開発」（略称、「新素材総プロ」）の1テーマとして「新ステンレス鋼の構造材への利用技術開発」が採用され、5か年にわたり研究が行われた。「総プロ」での主な研究開発課題を表1に示すが、その成果報告は、「新ステンレス鋼利用技術指針」に要約されている。この「総プロ」では、前述の「設計施工基準」に比べて、建物規模や鋼種などの適用範囲が拡大している。「設計施工基準」と「利用技術指針」における適用範囲を表2に示す。

3.3 建設大臣認定の取得

1991年、「総プロ」の研究開発成果を織り込んだ「設計施工基準」が完成し、加工施工に関する管理システムおよび管理体制の体系を確立した。1993年には、現在の（社）ステンレス構造建築協会の前身であるステンレス建築協会が、

任意団体としてステンレス協会から独立し、ステンレス建築構造についての一般認定取得に向けて、本格的取組みを開始した。1994年8月に、建設大臣より公益法人の設立が許可され、また、同年9月には、待望の一般認定を取得することができた。この法人設立準備から一般認定取得までの経過を図1に示す。

4. 建築構造用ステンレス鋼材

「設計施工基準」におけるステンレス建築構造材の材料規格を表3に示す。形状・寸法については、JIS規格とするが、JIS規格がないものは、ステンレス協会が補完する形で規格を制定している。

ステンレス鋼には、図2の応力-ひずみ線図のように、明確な降伏棚が現れないため、JIS規格では、普通鋼の降伏点の代わりに0.2%オフセット耐力を用いている。

この0.2%オフセット耐力を構造設計の基準強度とすると、その点での接線剛性が、初期剛性の1/15程度に低下し、基準強度レベルに達する前に局部座屈を生ずることになり、設計が成り立たない。このため、ステンレス協会規格SAS601「建築構造用ステンレス鋼材」を制定し、設計基準強度と

表3 ステンレス建築構造材の材料規格¹⁾

規格番号	規格名称	種類
SAS 601-93	建築構造用ステンレス鋼材	PS235-SUS304 PS235-SCS13A-CF
SAS 701-89	構造用ステンレス鋼高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット	10T-SUS, 10-SUS, 35-SUS
JIS B 1054-85	ステンレス鋼製耐食ねじ部品の機械的性質	A2-50, A2-70 AD308, AD309, AY308, AY309
SAS 522-92	建築構造用ステンレス溶接材料	AYF308, AYF309, AS308, AS309

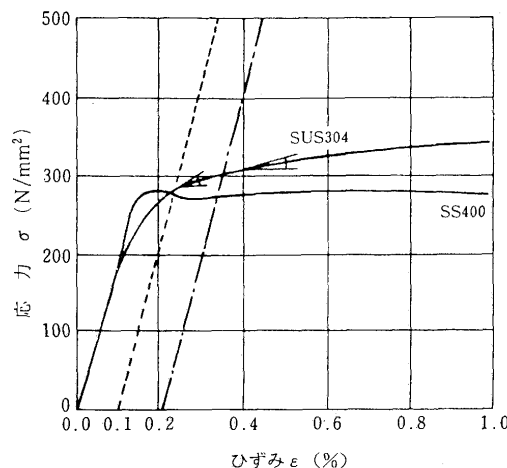


図2 応力-ひずみ線図（1%ひずみ領域）

なる0.1%オフセット耐力を規定している。また、構造部材としての塑性変形能を確保する上で重要である降伏比の上限値を新たに設けている。

新規格のPS235-SUS304とJIS規格のSUS304の機械的性質の比較を表4に示す。降伏耐力および降伏比の規定以外は、機械的性質および化学成分とも従来のJIS規格と同一である。

オーステナイト系ステンレス鋼は、製造工程の圧延完了後に「固溶化熱処理」が行われるため、メーカーや鋼種等の違いによる機械的性質のばらつきが小さいことが製品の実態調査からも確認された。[図3参照]

この調査結果も踏まえて、ステンレス鋼材の基準強度を定めているが、機械的性質のばらつきが小さいことは、構造設計の取扱いからも有利な点といえる。

SUS304の物理的性質を、普通鋼SS400と比較して表5に示す。ヤング係数が普通鋼より数%低いため、剛性がやや小さくなり、柱の変形やはりのたわみに関しては、若干不利に作用する。

線膨張係数は普通鋼の約1.5倍、熱伝導率は約1/3である点から、溶接などの熱によるひずみや変形が大きくなる傾向にあり、溶接施工時には、その防止対策を慎重に検討する必要がある。

5. 用途および実施例

5.1 ステンレス建築構造物の用途

ステンレスを建築構造体を使用することにより、それを意匠として表現することが可能となり、大地震の際にも、優れた耐震性を発揮する。その他、ステンレスの特性を活かして、表6に示すような用途が想定される。

5.2 実施例

ステンレス構造建築協会が、これまで設計審査や技術指導・支援を行った事例を写真1～3に示す。

表6 ステンレス建築構造物の用途例²⁾

特性	主な用途例
意匠性	アトリウム上家, 展示場, 店舗, アーケード, 美術館, 水族館, 温室, モニュメント, 立体トラス
耐久性 耐食性	プラットホーム, ペントハウス, 屋外階段, 化学工場, 原子炉関連施設, クリーンルーム, 体育館上屋, プール上屋, 高架水槽, サイロ
耐火性	ホテル, デパート, 劇場, 映画館, 病院, 公共建物
低温特性	冷凍倉庫, 極寒地施設, 極低温研究施設
非磁性	MRI医療施設, MHD発電施設, リニアモーターカー関連施設, 核融合炉関連施設
耐震性	(普通鋼と同等に使用可能), 筋かい, 柱脚, 免震装置

表4 PS235-SUS304とJIS規格のSUS304の機械的性質の比較¹⁾

規格	降伏耐力		引張強さ (t/cm ²)	降伏比	伸び (%)
	0.1%オフセット耐力 (t/cm ²)	0.2%オフセット耐力 (t/cm ²)			
PS235-SUS304	2.4以上	規定なし	5.3以上	0.6以下	35以上
SUS304	規定なし	2.1以上	5.3以上	規定なし	40以上

注 (1)降伏比とは、引張強さに対する0.1%オフセット耐力の比をいう。
(2)JIS G 3446(機械構造用ステンレス鋼鋼管)では35以上である。

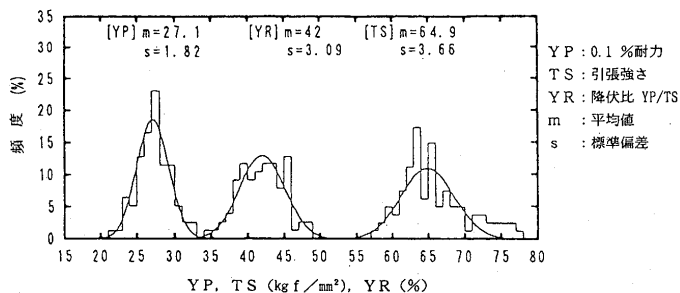


図3 機械的性質のばらつき (SUS304)²⁾

表5 SUS304とSS400の物理的性質の比較¹⁾

鋼種	ヤング係数 E (tf/cm ²)	せん断弾性係数 G (tf/cm ²)	ポアソン比 ν	線膨張係数 ρ ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 h (cal/cm \cdot s \cdot ^{\circ}\text{C})	磁性
SUS304	1970	758	0.3	17.3	0.039	なし
SS400	2100	840	0.3	11.7	0.119	あり

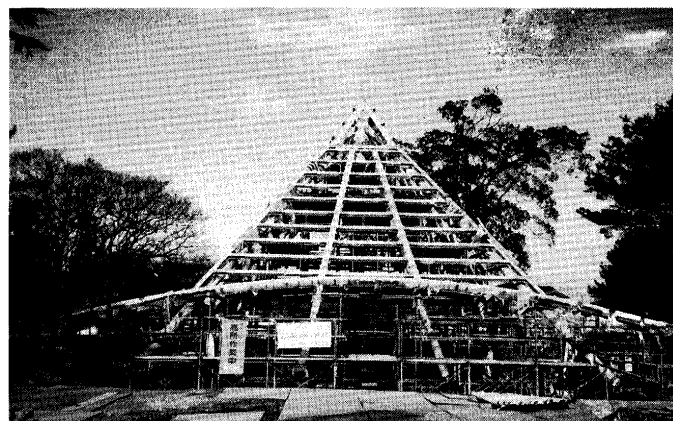


写真1 KF計画不動堂 (山梨県若草町)

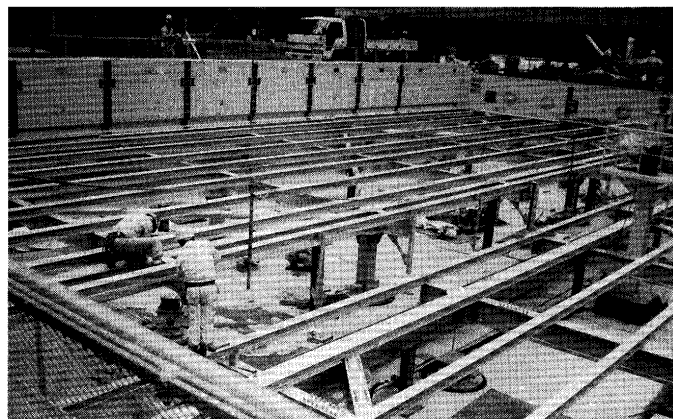


写真2 多目的プール可変床 (大阪市八幡屋公園)

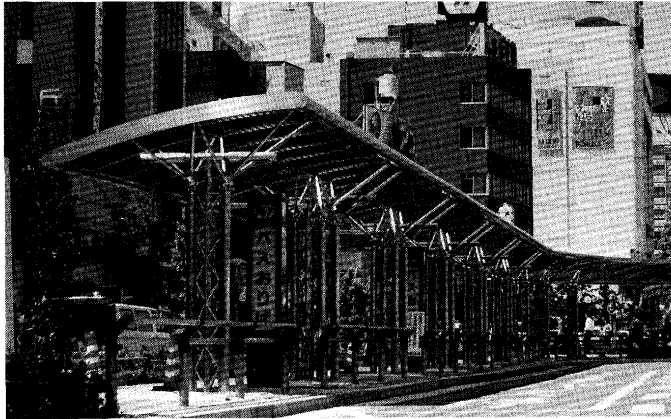


写真3 バス待ちシェルター（明石駅前）

表7 各種設計施工関連の規程・基準リスト

分類	各種規程・基準類
1. 設計施工全般	1) ステンレス建築構造設計施工基準・同解説 2) ステンレス建築構造物工事標準仕様書 3) ステンレス建築構造物工事技術指針
2. 製作工場関連	1) ステンレス建築構造物製作工場等認定規程 2) ステンレス建築構造物製作工事認定基準 3) ステンレス建築構造物個別製作認定基準 4) ステンレス建築構造物中間部材工場指定規程・基準 5) ステンレス建築構造物製作管理技術者認定規程
3. 溶接関連	1) ステンレス建築構造溶接施工基準 2) ステンレス建築構造溶接技量検定規程・基準 3) ステンレス建築構造溶接部の超音波探傷検査基準 4) ステンレス建築構造溶接部の浸透探傷検査基準
4. 高力ボルト関連	1) ステンレス鋼高力ボルト接合施工基準・管理要領 2) ステンレス鋼高力ボルト製作工場指定規程・基準 3) ステンレス鋼高力ボルト接合施工技術者認定規程

6. 認定事業について

6.1 認定関連委員会の組織と機能

ステンレス建築構造協会では、一般認定を受けた範囲内で、ステンレス建築構造物に関する設計審査、製作工場認定および技術者認定等の事業活動を行っている。

認定関連を総括する「構造技術委員会」は、第三者の学識経験者の委員により構成され、その下に設計審査や各種認定を行う各委員会を設けている。各委員会の組織とその機能を図4に示す。また、認定事業を行うために整備した規程・基準リストを表7に示す。

6.2 認定関連の実施活動

申請者より持ち込まれた物件は、認定関連委員会により迅速かつ適正に審査が行われる。「設計審査委員会」で提出された設計図書等により構造安全性や施工内容が審議され、併わせて「工場認定委員会」で製作工場の審査が実施され

る。製作工場が認定工場の場合は、物件ごとに行う工場審査が省略される。すべての審査が完了した時点で審査済証が発行されるので、直接、特定行政庁に建築確認を申請することができる。

また、すでに3工場が建設大臣の認定した製作工場となっているが、さらに、認定工場を増やすための活動が順次進められている。

関連技術者の認定は、早期実現に向けて準備段階であるが、溶接技能者技量検定は、適時実施しており、20数名の有資格者が誕生している。

7. 今後の検討課題

ステンレス建築構造の普及・発展のために、これから検討しなければならない重点課題を以下に列記する。

- 1) ステンレス建築構造に対する建築設計者等のユーザーの理解を深めるため、情報提供を積極的に行う。
- 2) 材料から施工までの総合的なコストダウンに関する技術開発を実施する。
- 3) 建物規模や使用鋼種等の適用範囲の拡大、薄板構造設計施工基準の作成などにより、需要のすそ野を広げる。

8. おわりに

ステンレスは、建築物に対してますます高級化・多様化するユーザーニーズに応える新しい構造材である。設計自由度が高く、耐久性のある、メンテナンス容易な建物をつくることができる。

安全で信頼性の高いステンレス建築構造物の普及・発展により、豊かな生活空間と良好な社会環境を実現し、21世紀に向けての社会資本の充実におおいに貢献できるものと考えられる。

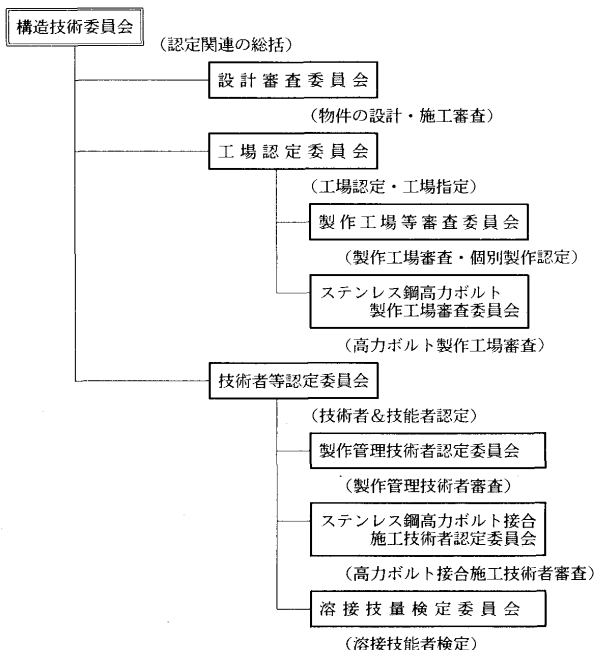


図4 認定関連委員会の組織と機能

文 献

- 1) 「ステンレス建築構造設計施工基準・同解説」, (社) ステンレス構造建築協会, (1995)
- 2) 「新ステンレス鋼利用技術指針」, 建設省建築研究所・ステンレス協会, (1993)

- 3) 計良光一郎: 第151・152回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, (1994), p.199
- 4) 計良光一郎・志村保美: 「ステンレス鋼建築構造物とそのケーススタディ」ステンレス協会「ステンレスと建築 S-a」No.90, (1993)

(平成7年7月3日受付)

技術・研究
トピックス

方形波電位パルス法によるステンレス鋼の着色

藤本 慎司・柴田 俊夫 / 大阪大学工学部

ステンレス鋼の表面に干渉色を示す厚い (およそ $0.05 \sim 0.3 \mu\text{m}$) 酸化物皮膜を生成して着色できることは広く知られており, 建築内外装材・家電製品などの用途に需要がある¹⁾。工業的には化学法による着色皮膜生成として, INCO法²⁾³⁾に基づくプロセスが実用されている。INCO法では硫酸と6価の酸化クロムの混合水溶液を 80°C 程度に保った浴中で, Cr^{6+} の強い酸化力によるステンレス鋼の溶解と同時に Cr^{6+} の Cr^{3+} への還元によって酸化物/水酸化物からなる皮膜を生成すると考えられている。このとき, 色調すなわち干渉色は膜厚により決定され, 約 $0.05 \mu\text{m}$ から $0.3 \mu\text{m}$ の範囲で, ひとつおりの色調が得られる。現在, 小物を対象としたバッチ式と, 薄板コイルによる連続プラントにより操作されているが⁴⁾⁵⁾, 基本的には処理浴での浸漬時間を制御することによって色調を調整している。なお, 実際には皮膜を安定化するために, この後に硬膜処理と呼ばれる直流電解プロセスを要する¹⁾。

これらのなかで, 沖ら⁶⁾はクロム酸を含まない酸またはアルカリ浴中にて, 2つの電位で交互に繰り返し分極することにより, INCO法同様の干渉色を示す皮膜を生成できることを報告した。この方法では図1に示すように, 印加電位に方形波状の電位変調を与えながら定電位電解を数分から

発色過程の概要

この皮膜生成反応は電気化学反応に基づくので電解プロセスへの置き換えが可能で, すでにいくつかの方法が提案されているが⁷⁾⁸⁾, いずれもINCO法と同様の電気化学反応を電解プロセスにより制御しているものと考えられる。こ

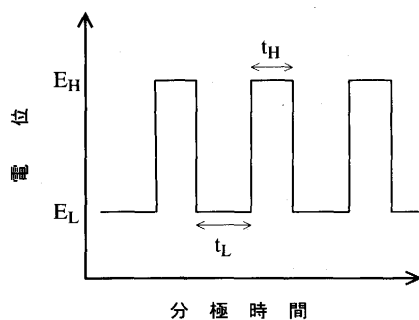
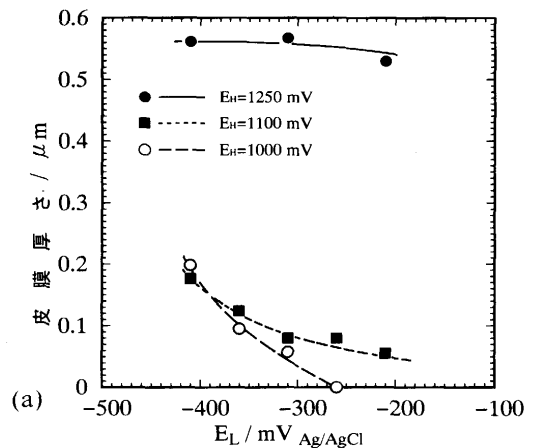
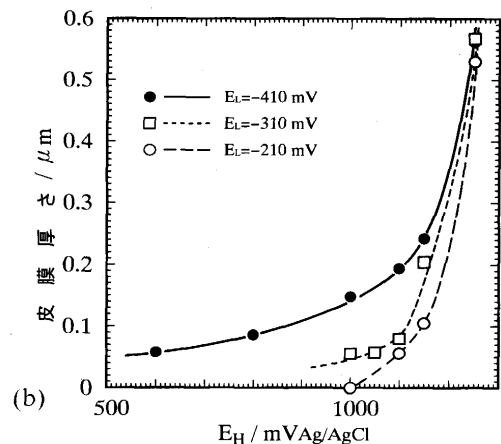


図1 方形波電位パルス法での変調電位



(a)



(b)

図2 方形波電位パルス法によって, SUS304鋼に生成する皮膜厚さと変調電位との関係。処理液は 50°C , $10\text{N H}_2\text{SO}_4$, パルス幅, $t_L = t_H = 0.04\text{s}$, 処理時間は 20min 。(a) E_H を固定, (b) E_L を固定