

# 防水型引張ボルト継手構造の各種試験

## Tests on Waterproof Tension-Bolted Joint Structure for Offshore Joining of Steel Pontoons

鳥越 弘行\* 太田 亘\*\*  
Hiroyuki TORIGOE Wataru OHTA

### Summary

Joining steel-shell pontoons at sea enables large floating structures to be constructed offshore. If a rubber-filmed, waterproof tension-bolted joint is used for this purpose, the necessary fieldwork can be done under dry conditions inside the units, without divers. This paper reports on the results of various tests conducted on the workability, waterproofness, joint strength, etc., of such waterproof tension-bolted structures.

### 1. まえがき

島国である我国の主要な臨海都市においては、陸上部での発展は限度に達しつつあり、海上への発展を目指してウオーターフロント、コンピューター航空施設等の海上構造物の検討が多数くなされている。海上へ建造物を構築する方法としては、干拓・埋立・栈橋・浮体による方法等があり、最近建設中の関西国際空港建設工事は埋立方式で進められているが、計画段階における各種工法比較検討の中で浮体方式案についても検討がなされている。浮体方式案では、造船工業会が鋼製浮体構造案を提案し、プレストレストコンクリート協会がPC浮体構造案を提案している。この両浮体構造案共に、海岸ヤードあるいはドライドックで浮体ユニットを製作して、建設現場まで曳航し海上において浮体ユニット相互を接合するプレハブ方式で必要な大きさに組み立てて係留することが考えられている。大型海上浮体構造物建設における主な問題点の1つとしては、浮体ユニット製作ヤードまたはドライドックの確保・安全な係留方式の選定と共に、海上現場における浮体ユニット相互の接合工法選定があげられている。

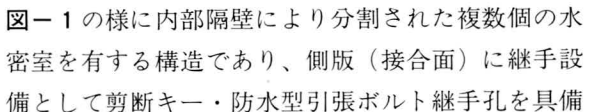
鋼殻ポンツーンの浮体ユニットを用いて大型海上浮体構造物を構築する場合も、海上における浮体ユニット相互の接合継手構造の選定が重要な課題となる。これを踏まえて、海上ユニット接合作業時の施工性・安全性を考

慮し、潜水夫作業を極力少なくする工法として、浮体ユニット内部からの作業だけで接合可能な、防水型引張ボルト継手構造を使用した浮体構造物構築工法を提案しているところである。この防水型引張ボルト継手構造は、鋼製浮体ユニットの海上曳航時と海上接合作業時の継手部の防水が確保される様に、継手部ボルト孔（高張力鋼棒用孔）に防水ゴム膜を設備したものである。海上接合作業時には浮体ユニット内部からゴム膜を破りボルトを挿入するが、ゴム膜がボルトに巻き付き、またはボルトとボルト孔との間でパッキング状態になり止水効果を発揮するものであり、一般のボルト継手と比較してボルト径と孔径の差が大きい引張継手構造である。

今回の試験報告は、防水ゴム膜の耐水圧性・止水性・ボルト挿入性の試験結果、および防水ゴム膜を用いた引張ボルト構造の静的載荷試験結果である。

### 2. 海上浮体構造物構築工法のご概念

鋼製（または鋼・コンクリート複合）浮体ユニットを用いた海上浮体構造物構築工法の概要は次のとおりである。

- ① 海岸製作ヤードで製作・組立した浮体ユニットは、の様に内部隔壁により分割された複数個の水密室を有する構造であり、側版（接合面）に継手設備として剪断キー・防水型引張ボルト継手孔を具備

\* 技術本部付調査役

\*\* 横浜ゴム(株)複合商品事業部EP技術部

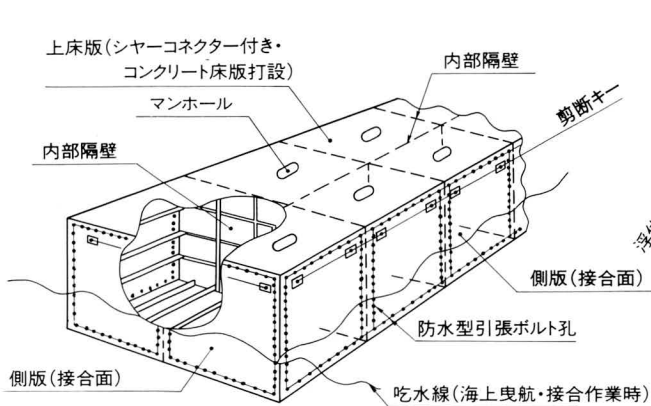


図-1 浮体ユニット(鋼製)構造・接合面イメージ

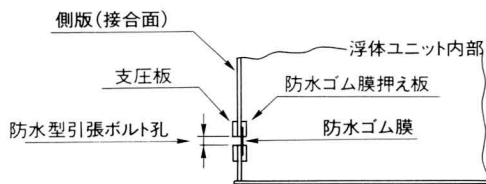


図-2 防水ゴム膜(海上曳航時)のイメージ

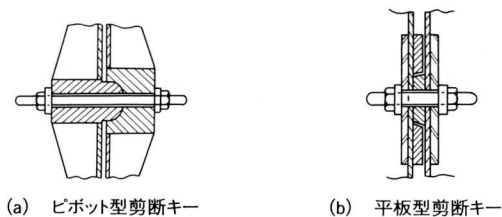


図-3 剪断キーのイメージ

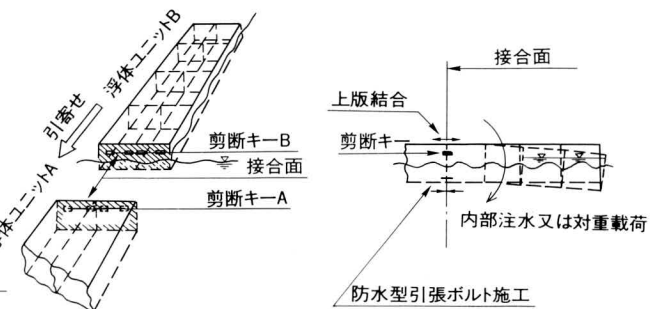


図-4 海上接合イメージ

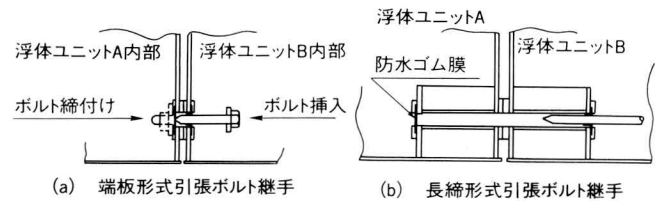


図-5 防水型引張ボルト継手作業のイメージ

番号は浮体ユニットの接合順を示す

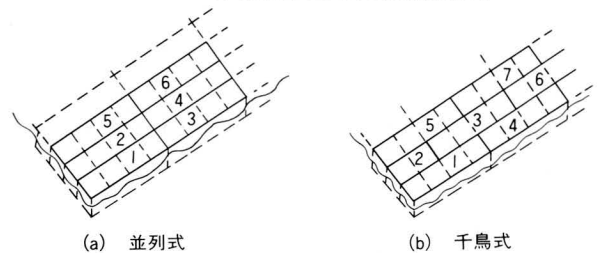


図-6 浮体ユニット連結方式

している。海上浮体接合後、上床版にはコンクリート打設して鋼・コンクリート合成の海上人工地盤・海上コモニータ設備の建設を行う。

- ② 浮体ユニットの防水型引張ボルト継手孔には、図-2の様に防水ゴム膜をセットして、浮体ユニット海上曳航時の水密性を確保している。
- ③ 浮体ユニット相互の接合時の位置決めと、剪断力の伝達の目的で、図-3の様な剪断キーを浮体ユニット側版(接合面)の上部位置に設ける。
- ④ 海上建設現場において、浮体ユニットA・Bを相互に引き寄せ、剪断キーを利用して浮体ユニットA・Bを正規の位置にセットする。上床版を始めて結合して仮固定し、内部注水またはカウンターウェイトにより海水の浮力を利用して、接合面に負の曲げモーメントを発生させ接合面の密着性を良くした後

に、防水型引張ボルト継手施工を施工する(図-4)。

- ⑤ 防水型引張ボルト継手施工は、ドライエリアである浮体ユニット内部からの作業のみで可能である(図-5)。浮体ユニットB内部から、ゴム膜にピンホールをあけてボルトを挿入し、浮体ユニットA内部迄貫通させて、引張ボルトに初期張力を導入し浮体ユニット相互を接合する。ボルト挿入時には、ピンホールから破れた防水ゴム膜がボルトに巻き付き、またはボルトとボルト孔の間でパッキング作用により浮体ユニット内部への漏水がほとんど無く、引張ボルト継手施工はドライ作業が可能となる。防水型引張ボルト継手施工後に、ボルトとボルト孔の間および各浮体ユニット接合面の側版の間には、鋼材の防食・漏水対策のため、エポキシ樹脂等の注入施工を行う。

⑥ 浮体ユニットの連結方式には、並列式・千鳥式等が考えられる (図-6)。

mmとし、円孔径26mmにおける静水圧試験で耐水圧性を確認した。試験結果を図-7に示す。

ゴム膜の耐水圧強度は材質C R60°、C R50°の差はほとんど無く、凸出量も含めてゴム厚に大きく支配される。静

### 3. 防水ゴムの各種試験

引張ボルト継手のボルト孔に施す防水として、浮体ユニット海上曳航時には建設関連その他で一般的に使用されているゴムを防水ゴム膜とした防水構造とし、継手接合作業時にはゴム膜をボルト挿入で破るがその作業時の漏水が少なく作業可能なゴム膜の厚さ・形状・材質等を調べるため各種試験を行った。この防水ゴム関連の試験については、主として横浜ゴム株式会社産業資材技術部と共同で行った。以下に各種試験結果を報告する。

#### (1) 防水ゴム膜の形状検討・基本性能試験

##### 1) 平ゴム膜の厚さと耐水圧性

平ゴム膜の材質をC R60°とC R50°、厚さを1および2

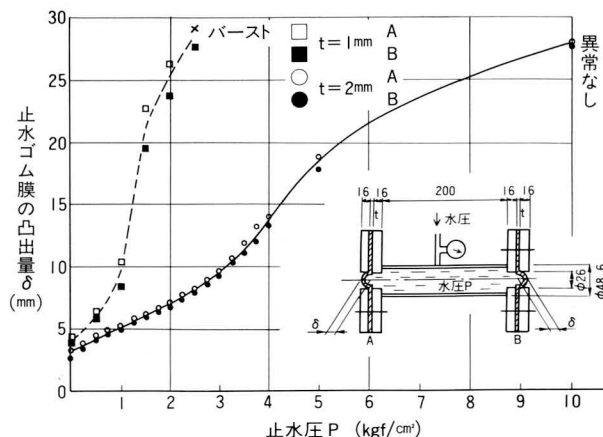


図-7 ゴム膜の止水圧と凸出量

表-1 防水ゴム膜の形状検討・基本性能試験結果

項目	サンプルNo.	0 (平ゴム 1t)	1 (平ゴム 2t)	2 (座ぐりゴム 5φ×3h×5t)	8 (座ぐりゴム 10φ×3h×4.5t)	9 (座ぐりゴム 10φ×5h×5.8t)
構造						
ボルト挿入時最大荷重 (kgf/本)	前面止水ゴム膜貫通時	7	40	350	198	2回目 (145)
	前面貫通後後面貫通時	15	56	600	132	(220)
止水ゴム膜位置	前面					
	後面					
耐水圧 (kgf/cm²)	0.02	漏水なし	漏水250cc/min	漏水なし	漏水なし	漏水なし
	0.5	—	—	同上	同上	同上
	1.0	—	—	同上	同上	同上
	1.5	—	—	同上	同上	同上
	2.0	—	—	同上	同上	同上
	5.0	—	—	同上	同上	同上
止水ゴム膜の状態	ボルト挿入時の形状		サンプルNo. 0と同じ	サンプルNo. 0と同じ	サンプルNo. 0と同じ	サンプルNo. 0と同じ
	キレツの状態 (試験後)					
判定	×	ボルト挿入によるゴム膜のキレツ伸展し止水性乏しい	×	同左	×	ボルト挿入時の荷重大
	△	適用可能性有座ぐり径は10φ以上が適当と思われる	△	同左	△	同左

水圧 = 1 kgf/cm<sup>2</sup> は水深 10 m の水圧に相当している。

2) ゴム膜の形状とボルト挿入性・ボルト挿入後の止水

防水ゴム膜のボルト挿入性とボルト挿入後の止水性の基本的な傾向を求めるために、下記の試験を実施した。試験は写真-1に示すようにボルト用孔径=26mmの箇所に防水ゴム膜をセットした治具を用い、先端を加工したボルト径=22mmを圧入するボルト挿入性試験と、ボルト挿入後の止水性として水圧を加えた漏水状況を観察する試験とした。

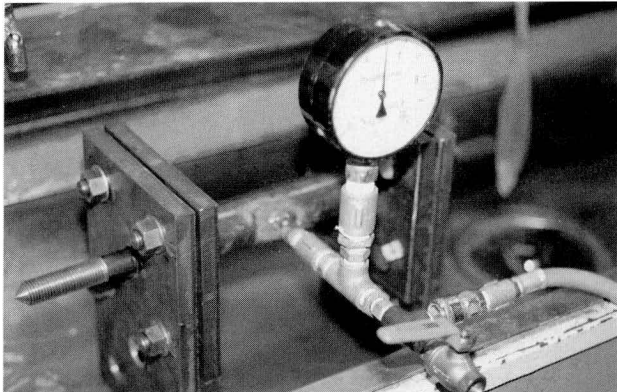


写真-1 ボルト挿入後の止水性試験

防水ゴム膜の形状検討・基本性能試験の試験結果を表-1に示す。これら試験の結果から、下記の事が考察される。

- ゴム膜の最小厚さは、耐水圧性・凸出変位量から 2 mm 以上が望ましい。
- ゴム膜による防水は、ボルトねじ部ではねじ谷に起因する多少の漏水は止めることができないが(ボルト挿入作業の始めの短時間のみで)、ボルト軸部では期待出来る。
- 平ゴム膜より座ぐりゴム膜のほうが止水効果が大きい。これは、ボルト挿入後のゴムの破れ形状からも想定でき、また、止水効果はゴム膜がボルトに巻き付く作用によるより、パッキング作用効果が大きいと考えられる。

(2) ざぐりゴム膜の各種性能試験

前項(1)の試験結果より、座ぐりをいれたゴム膜の止水効果が大きい事を勘案して、ゴム膜厚さを T=4.5mm・座ぐり部厚さ=2.0mmとして各種試験を実施した。

1) 材料物性試験

防水ゴム膜の物性試験結果を表-2に示す。

2) ざぐりゴム膜のボルト挿入性とボルト挿入後の止水性

ざぐりゴム膜のボルト挿入性とボルト挿入後の止水性は、孔径とボルト径の差・ざぐり径とボルト径の比等に影響される。したがって試験のパラメーターとし孔径とボルト径の差・ゴム膜ざぐり径とボルト径の比を設定して、表-3の試験条件により試験を実施した。

表-2 ざぐりゴム膜の物性試験結果

項目	単位	試験方法	規格	試験値	
				CR50	(CR40)
材質	—	—	—	クロロブレン系	クロロブレン系
硬さ試験	ゴム硬さ	度	JIS K6301の5	50±5	50 39
引張試験	100%伸張応力	kgf/cm <sup>2</sup>	JIS K6301の3	—	17.2 11
	300%伸張応力	kgf/cm <sup>2</sup>		—	84.9 38
	引張強さ	kgf/cm <sup>2</sup>		100以上	166 150
	破断時伸び	%		400以上	499 785
引裂試験	引裂強さ	kgf/cm	JIS K6301の9	20以上	48.2 57
低伸張応力試験	伸張応力	kgf/cm <sup>2</sup>	JIS K6301の13伸長率 25%	—	4.89* —
圧縮永久歪試験	圧縮永久歪	%	JIS K6301の10圧縮率25% 70℃×22H	20以下	15 14
老化試験	引張強さ残留率	%	JIS K6301の6老化条件 100℃×72H	老化前値の80%以上	93 86
	伸び残留率	%		老化前値の80%以上	89 83
	ゴム硬さ変化量	度		老化前値の+8以内	+4 +3
オゾン劣化試験	キレツ発生状態		JIS K6301の16老化条件 40℃×50ppm×96H×20%伸張	キレツなし	キレツなし キレツなし
低温衝撃ぜい化試験	低温衝撃ぜい化温度	℃	JIS K6301の14	—	-47.8 —
耐水性試験	重量変化率(吸水率)	%	JIS K6911の5の26 50℃温水×72H	—	+3.5 +4.6

(注) 静的弾性係数率 G は  $G = 1.639\sigma_{25} = 1.639 \times 4.89 \text{ kgf/cm}^2 = 8.0 \text{ kgf/cm}^2$   
 $\sigma_{25}$ : 25%伸張応力(kgf/cm<sup>2</sup>)

表-3 試験条件

ゴム膜厚 T (mm)	孔径 D (mm)	ボルト径 D <sub>b</sub> (mm)	d=(D-D <sub>b</sub> )/2 (mm)	T/d	ざぐり径 φ (mm)	φ/D <sub>b</sub>	記事試験体番号
4.5	26	22	2	2.25	15	0.682	1-1
					17.5	0.795	1-2
					20	0.909	1-3
		20	3	1.5	15	0.75	2-1
					17.5	0.875	2-2
					20	1.00	2-3
	30	22	4	1.125	15	0.682	3-1
					17.5	0.795	3-2
					20	0.909	3-3
		20	5	0.9	15	0.75	4-1
					17.5	0.875	4-2
					20	1.00	4-3

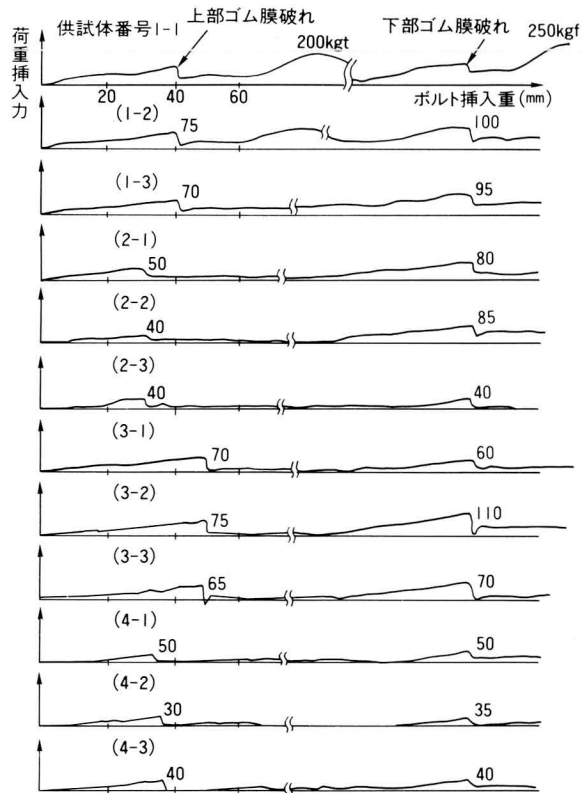


図-8 ボルト挿入試験結果(挿入力の状態)

ボルト挿入性試験は、先端を鋭角(45°)に加工した挿入ボルトを用い、アムスラー試験機により挿入力を測定した。ボルト挿入時ゴム膜を破る際(実作業時はボルト回転を併用する事を考慮して)はボルトに回転を与えた。試験結果を図-8、図-9に示す。

表-4 ボルト挿入後の止水試験結果

供試体番号	水圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )										漏水状況						
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0		5.5	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
1-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	試験最大水圧10kgf/cm <sup>2</sup> まで完全止水
1-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	同上
1-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	同上
2-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	同上
2-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×			ボルト先端側で筋状に漏水
2-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×			同上
3-1	○	○	○	○	○	○	○	○	×								同上
3-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×							同上
3-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×						同上
4-1	○	○	○	○	○	○	○	×									同上(3.5kgf/cm <sup>2</sup> ×1分後)
4-2	○	○	○	○	○	○	×										同上
4-3	○	○	○	○	×												同上

表中 ○印 完全止水(各圧力での保持時間1分間)  
×印 漏水発生

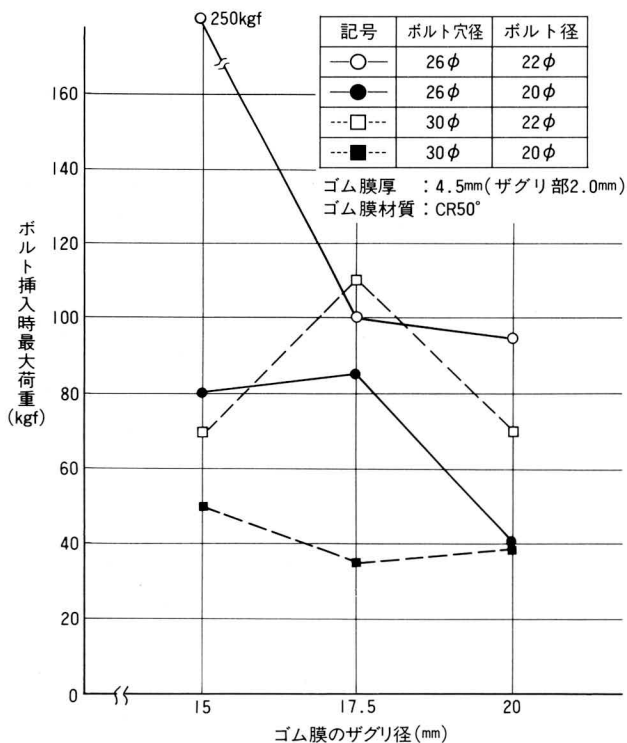


図-9 ボルト挿入試験結果(ボルト挿入時最大荷重)

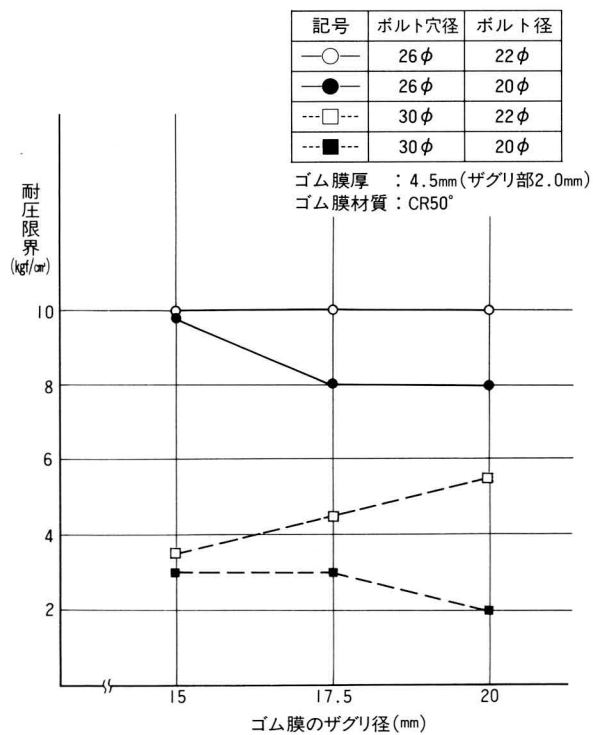


図-10 ざぐりゴム膜の耐水圧限界

止水試験は、写真-1の様な治具による静水圧試験とし、水圧は10kgf/cm<sup>2</sup>まで加えて実施した。試験結果を表-4に示す。同様に水圧10kgf/cm<sup>2</sup>までの耐水圧として図示すると図-10となる。

### (3) ゴム膜試験の考察と今後の課題

#### 1) 考察

##### ○ボルト挿入性

① ボルト挿入量と荷重(挿入力)の関係は、図-8に示す通りであり、ボルト先端がゴム膜に接触して30~50mmの挿入量となったときゴム膜は破れを生じ、荷重も最大を示した。ただし試験体番号1-1は、ボルト孔とボルトとのクリアランスが2mm、ざぐり径も最小である(表-3参照)ため、ゴム膜破断直後に一旦荷重は低下するがボルト挿入によりゴム膜の破れた部分がクリアランスに密充填して抵抗が増し、ゴム破断後更に40~50mmボルトの挿入がすすんだときに最大荷重を示した。

② ボルト挿入時の最大荷重は、図-9よりゴム膜厚さに比してボルト孔とボルトとのクリアランスが小さいほど(T/dが大きい程)大きく、ゴム膜ざぐり径寸法が小さいほど大きい。

##### ○ざぐりゴム膜の止水性

① ゴム膜厚さに比してボルト孔とボルトとのクリアランスが小さいほど(T/dが大きい程)止水性が良い(表-4、図-10)。<ゴム膜がクリアランスに密充填するパッキング作用が大と考えられる>

② ゴム膜のざぐり径の影響は、本試験の結果からは認められなかった。また、全試験体共に貫通キレツは薄肉化したざぐり部の範囲にある。

③ 防水ゴム膜の必要耐水圧限界を7.0kgf/cm<sup>2</sup>および3.5kgf/cm<sup>2</sup>とすると、防水ゴム膜の形状(ボルト孔、ボルト径の関係を含め)は下記形状が適している。

7.0kgf/cm<sup>2</sup> —— 試験体番号 2-3

3.5kgf/cm<sup>2</sup> —— 試験体番号 3-3

#### 2) 今後の課題

防水ゴム膜の実用化に当たっては、主として下記事項の検討・確認が必要と考えられる。

- 防水ゴム膜の浮体ユニットへの取り付け方法
- ボルト挿入時の施工誤差(ボルト孔の偏心等)を考慮した水圧下でのボルト挿入性、止水性の

#### 確認

- ゴム膜の防汚(生物付着防止)対策の検討
- 長期耐圧性の確認

## 4. 防水型引張ボルト継手の強度試験

高力ボルトによる引張ボルト継手構造は、高力ボルトの軸方向の引張力により応力(力)を伝達する接合方法であって、摩擦接合・支圧接合と異なり、添接板を必要としない現場作業性の良い接合構造である。この引張ボルト継手構造は、高力ボルトをあらかじめ締付ける事(初期張力)により得られる材間圧縮力が有効に作用して、外力が作用する時においても高力ボルトの軸力増加がほとんど無い、剛性の大きい接合方法である。これに関しては、昭和30年代後半から各方面で広く研究がなされ、ドイツ、アメリカ、イギリス、日本等で各種の文献が発表され、計算方法等が提案されている。

現在、日本では引張ボルト継手構造について、建築学会においては鋼構造設計基準に高力ボルト許容引張応力度・計算方法が定められているが、土木関連の示方書・基準等では特に規定が無く、引張ボルト継手構造を用いる場合には、その都度強度試験を行う等の安全確認が条件になっている。しかし、最近、土木関係においても、現場施工の容易な引張ボルト継手構造の要望が多くなり、土木関連の示方書・基準等に取り入れる事が考えられている。ここでは、引張ボルト継手構造に、前項3.において各種試験を行った防水ゴム膜を設備した防水型引張ボルト継手について、継手強度確認試験を実施した試験結果を報告する。防水型引張ボルト継手の強度試験は、端板形式および長締め形式の2種類の引張ボルト継手について実施した。

### (1) 試験体

防水型引張ボルト継手の強度試験の試験体は、H鋼材を用いた試験梁(支間=3m)の中央部に試験継手を設備した。下記に示す2種類の試験体を用いた。試験体の設計図を図-11に示す。

#### 1) Aタイプ試験体

Aタイプ試験体は、継手部の端板厚さを厚くし、また補剛材を加えて継手部の剛性を高めて、テコ作用によるボルト軸力増加を抑えた端板形式引張ボルト継手の試験体である(図-11、写真-2a)。

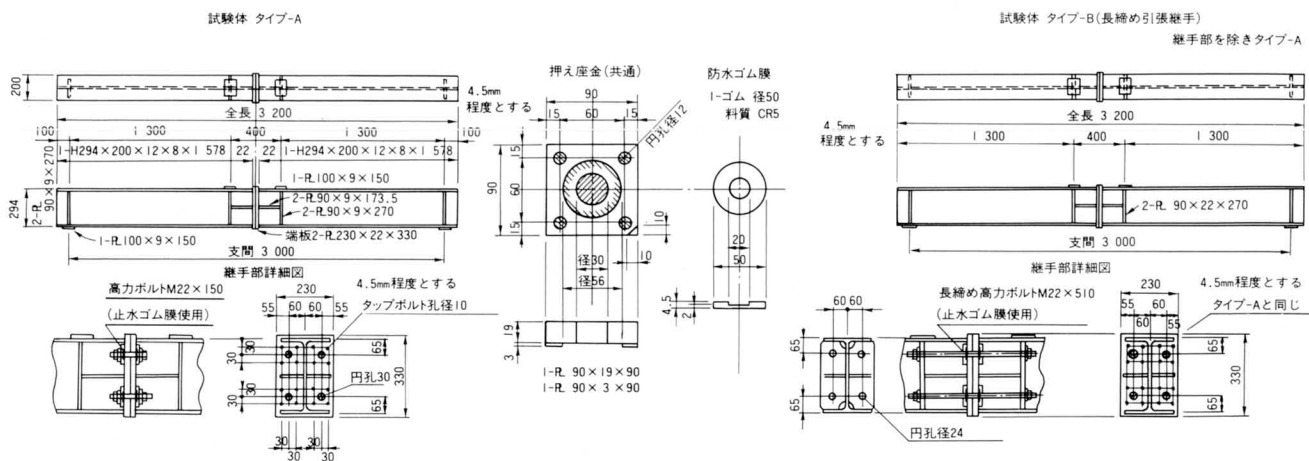


図-11 防水型引張ボルト継手強度試験試験体

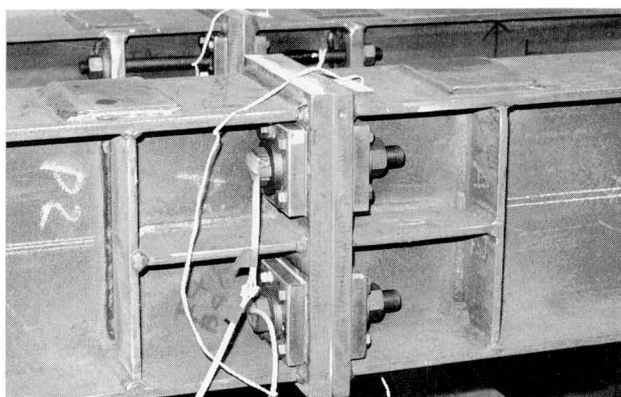


写真-2a A-タイプ(端板形式)

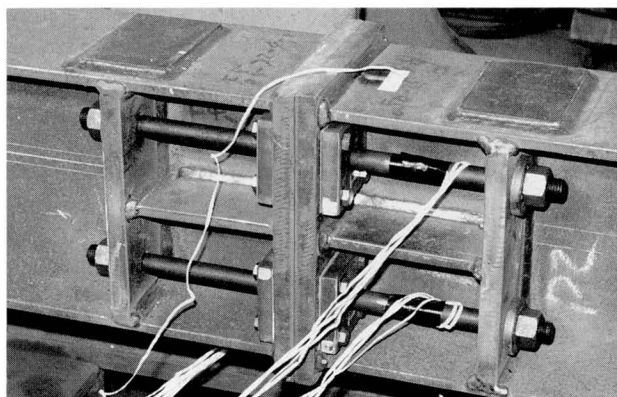


写真-2b B-タイプ(長締め形式)

防水設備は、端板に防水ゴム膜を抑え座金でタップボルトにより取り付けられた構造としている。引張ボルトは、高力ボルトM22 (F10T) を使用しているが、防水設備の関連で端板ボルト用の孔径が30mmとなるので、孔径24mmの座金を使用している。

初期ボルト締付け目標軸力は、一般の摩擦接合高力ボルトの締付け軸力と同じ軸力である20.5トンとした。(摩擦接合高力ボルト締付け目標軸力 $=0.75 \times \sigma_{ya} \times A_e$ )

## 2) B-タイプ試験体

B-タイプ試験体は、エンドプレートとアンカプレートとを有する長締め形式引張ボルト継手の試験体である。引張ボルトには、M22 (F10T相当) を使用し、初期ボルト締付け目標軸力等は、A-タイプ試験体と同様である (図-11、写真-2b)。

## (2) 試験方法

防水型引張ボルト継手の静的載荷試験は、A・B-タイプ試験体共に、4点載荷による純曲げ試験により実施するものとし、載荷方法および変位測定位置を図-12に示す。また、静的載荷試験の実施状況写真を写真-3に示す。

防水型引張ボルト継手の静的強度評価は、載荷時のボルト軸力変化 (継手部の作用曲げモーメントとボルト軸力変化) により行う。

引張ボルト軸力の測定は、A-タイプ端板形式引張ボルトについては、高力ボルト頭部より軸芯に孔径2mmを削孔してその中に1-ひずみゲージをセットする埋込式 (ゲージ埋込式によるボルト軸力計測は高力ボルト摩擦接合試験で多くの実績有り) で計測することとした。また、B-タイプ長締め引張ボルトについては、軸部に2-ひずみゲージを張りつけてその平均値を用いて軸力を計測した (図-13、写真-2)。

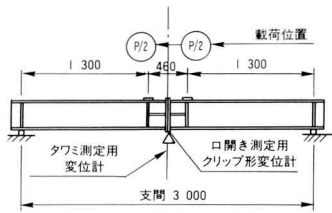


図-12 荷重方法および変位測定位置

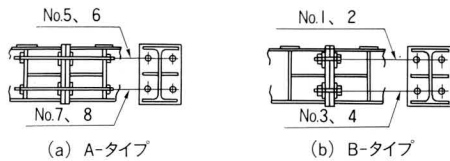


図-13 引張ボルト継手の計測ボルト

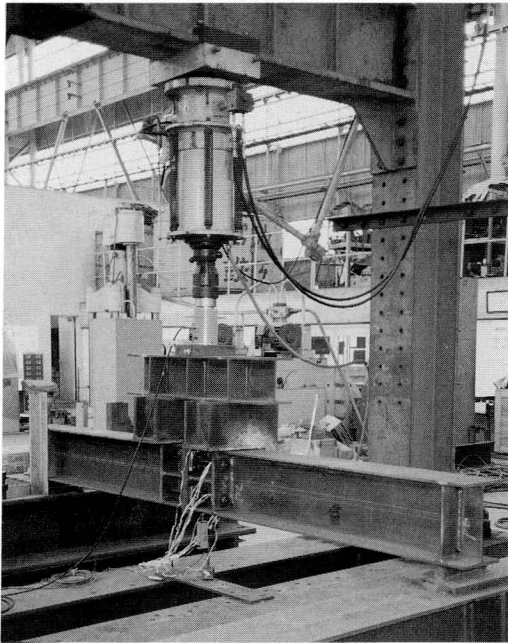


写真-3 静的荷重試験実施状況

### (3) 試験結果および考察

防水型引張ボルト継手の静的荷重試験結果および考察を以下に示す。

#### 1) 引張ボルト軸力の変化

引張側の引張ボルト (No. 3、4、7、8) の軸力変化を図-14に示す〔圧縮側の引張ボルト (No. 1、2、5、6) の軸力変化は、荷重約16トンまでほとんど変化が無いので記載を省略する〕

端板形式引張ボルト継手の構造計算法の1つとしてドイツ等では、H. Beer氏提唱のてこ反力を無視した計算法が使用されている。

H. Beer氏提唱による引張ボルト軸力計算法の計算仮定は、

- ① 引張力はボルトのみで負担する、
- ② 圧縮力は接触面で負担する、
- ③ 応力分布は直線的とする、

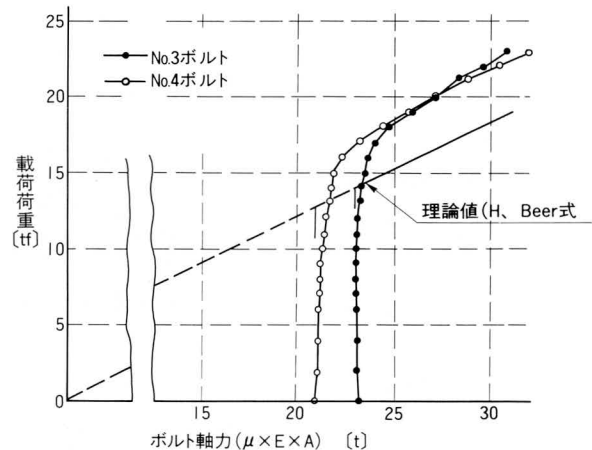
であり、試験値とこのH. Beer氏提唱の式を理論値として比較すると、図-14荷重一ボルト軸力変化図のように比較的一致していると言える。

試験体引張ボルト継手の強度をH. Beer氏の式での計算を以下に示す (図-15参照)。

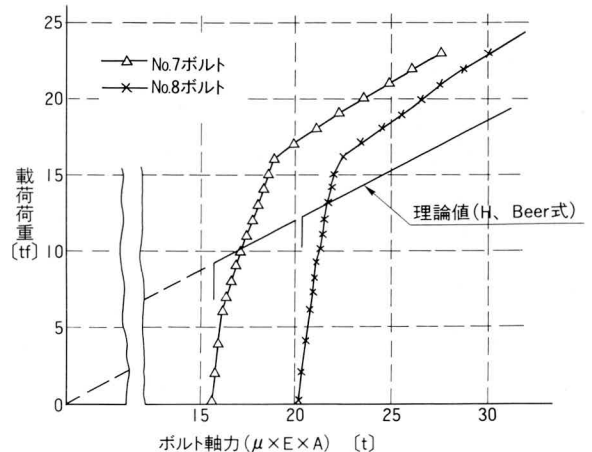
ボルト断面積を梁高 $h$  ( $h=33\text{cm}$ ) の断面に換算する

$$F10T \quad M22 \quad A_b = 3.801\text{cm}^2$$

$$\text{換算幅} \quad b_1 = 4 \times 3.801 \div 33 = 0.46\text{cm}$$



(a) Aタイプ試験体(端板形式)



(b) Bタイプ試験体(長締め型式)

図-14 荷重一ボルト軸力変化



圧縮面の面積は 接触面面積 $=x \cdot b_2$ とする。図-15より

$$b_2 = b - b_1 = 23.0 - 0.46 = 22.54 \text{ cm}$$

$$x = x_1 \cdot h$$

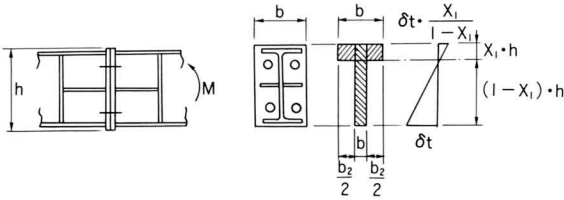


図-15

平面保持の仮定より中立軸比 $x_1$ は、下記により式①となる。

$$\text{引張合力 } T = b_1(1 - x_1) \cdot h \cdot 1/2 \cdot \sigma_t$$

$$\text{圧縮合力 } C = b \cdot x_1 \cdot h \cdot 1/2 \cdot x_1 / (1 - x_1) \cdot \sigma_t$$

T=Cより

$$x_1^2 + 2 \cdot b_1/b_2 \cdot x_1 - b_1/b_2 = 0$$

$$\therefore x_1 = x/h = (b_1/b_2) \cdot \{\sqrt{1 + (b_2/b_1)} - 1\} \dots \dots \text{①}$$

置換断面の中立軸に関する断面2次モーメントは式②となる。(図-15参照)。

$$I = (b_2 \cdot h^3 / 3) \cdot \{3b_1/b_2 \cdot (1/2 - x_1)^2 + x_1^3 + b_1/4 \cdot b_2\} \dots \dots \text{②}$$

また、引張側の断面係数は式③で表わせる。

$$Z_t = I / (1 - x_1) \cdot h \dots \dots \text{③}$$

上記の式①、②、③に、試験体引張ボルト継手の諸元寸法 $b_1 = 0.46 \text{ cm}$ 、 $b_2 = 22.54 \text{ cm}$ を代入し計算すると引張側の断面係数 $Z_t$ は、下記となる。

$$x_1 = 0.1234 \quad I \doteq 4240 \text{ cm}^4$$

$$x_1 \cdot h = 4.07 \text{ cm} \quad Z_t \doteq 147 \text{ cm}^3$$

静的荷重試験時における、荷重荷重(P)と試験体引張ボルト継手箇所の作用曲げモーメント(M)およびボルト軸力( $B_t$ )の関係は、下記のように表わせる。

$$M = (P/2) \times 130 = 65 \cdot P \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$B_t = (M/Z_t) \times A_b = [(65 \cdot P)/Z_t] \times A_b \text{ kgf}$$

ただし、ボルト軸力( $B_t$ )の変化は理論的には、初期ボルト締付軸力を与えているので、下記の荷重荷重( $P_1$ )までは初期ボルト締付軸力( $B_0$ )で一定となる。

$$P_1 = (B_0 \times Z_t) / (65 \times A_b) \doteq 12200 \text{ kgf}$$

$$B_t = B_0 = 20500 \text{ kgf}$$

上記により、H. Beerの提唱式は次の値となり、図-14に理論値として、実線で記載している。

$$\text{荷重荷重 } P \leq 12200 \text{ kgf} \text{---ボルト軸力 } B_t = 20500 \text{ kgf}$$

$$\text{荷重荷重 } P > 12200 \text{ kgf} \text{---ボルト軸力 } B_t = [(65 \cdot P) / (147 \times 3.801)]$$

実験値では、荷重約15トンまでボルト軸力は殆ど初期ボルト締付軸力で推移して、H. Beerの提唱式の値12.2トンより大きい荷重まで、ボルト軸力増加は微小である。したがって、H. Beerの提唱式は、この試験からは引張継手の計算式として、安全側で使用可能と考えられる。

## 2) 引張継手下端部の口開きと中央部タワミ量

荷重による継手部の口開き量とタワミ量を、図-16、17に示す。

図-17の支間中央のタワミ性状より、継手部の剛性は母材部と同等と考えられ、引張継手は十分な剛性を有することが伺われる。また、継手部の口開き性状からも継手部の十分な剛性が期待できる。

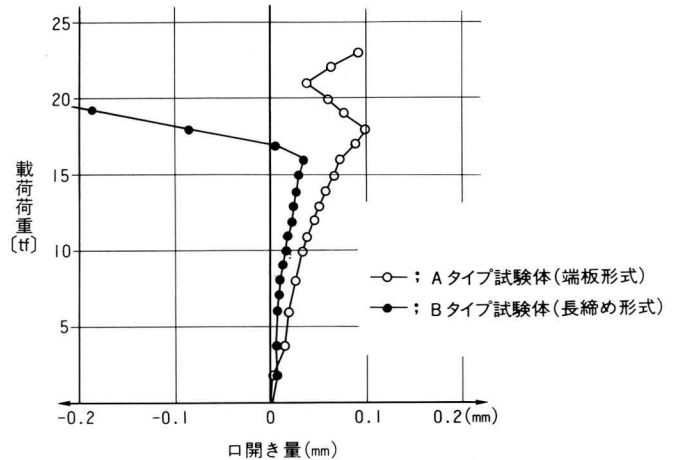


図-16 引張継手下端部口開き量

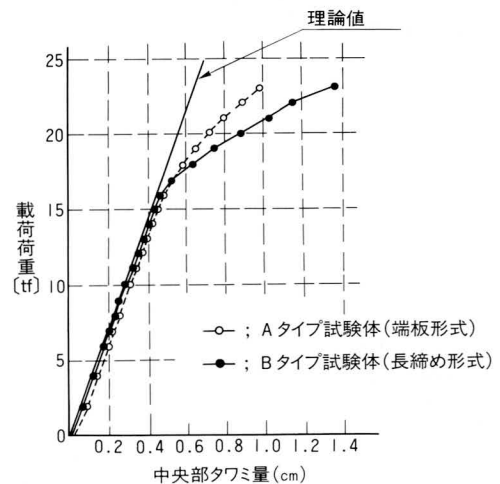


図-17 荷重による支間中央部変異量

### 3) ボルト締付軸力の減少

一般の高力ボルトに比較して、長締めボルトの締付軸力の減少率（経時変化）が懸念されるが、計測の結果、締付1日後の軸力の減少率は2～3%であり、一般の高力ボルトと同程度である（図-18）。

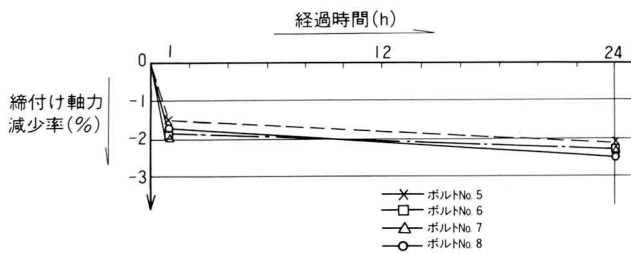


図-18 長締めボルトの締付け軸力経時変化

### 4) 引張ボルト継手強度の考察

高力ボルトの許容引張応力度 ( $\sigma_{ba}$ ) は、建築関係では鋼構造設計基準で定められている。しかし、 $\sigma_{ba}$  は土木関係においては基準等で定められて無くて、一般的に初期ボルト締付軸力の60%（初期ボルト締付軸力は、ボルト許容耐力  $\sigma_{ba}$  の60%）の値が一般的に用いられている。高力ボルト F10T M22の場合の許容引張応力度は

$$\text{建築関係} \quad \sigma_{ba} = 3.1 \text{tf/cm}^2 = 31 \text{kgf/mm}^2$$

$$\text{土木関係} \quad \sigma_{ba} = 0.6 \times 0.6 \times 90 (\sigma_{by}) = 32.4 \text{kgf/mm}^2$$

であり、土木関係の  $\sigma_{ba} = 32.4 \text{kgf/mm}^2$  を設計許容引張応力度として、H. Beer 提唱式を適用すると許容載荷重は  $P_a = 7.3$  トンとなる。

載荷試験結果の図-14 載荷重—ボルト軸力変化図より、引張ボルト継手は A・B タイプ共に載荷重 約15 トンまで終局強度があり、H. Beer の計算式を適用すると許容載荷重は、 $P_a = 7.3$  トンで約2倍の安全率を有していることとなる。

載荷試験による許容載荷重の  $P_a = 7.3$  トンまでのボルト軸力の増加（図-14）は、

$$\text{Aタイプ} \quad \text{軸力の増加 (No. 3、4 ボルト共に)} \approx 0.2 \text{tonf}$$

$$\text{Bタイプ} \quad \text{軸力の増加 (No. 7、8 ボルト共に)} \approx 0.8 \text{tonf}$$

であり、軸力増加は初期締付軸力の3～10%となっている。

## 5. 防水型引張ボルト継手構造の今後の課題

引張ボルト継手構造の海上剛結接合への適用実用化に当たっては、防水ゴム膜の問題点（3.-(3)-2）参照）

と共に、下記事項の構造検討・確認が必要と考えられる。

#### ① 継手部の腐食防止

- ・ボルト孔とボルトの間隙へのエポキシ樹脂等の注入施工
- ・ボルトへの防腐食処理法

#### ② 継手部の剛性評価法の検討

エンドプレート、アンカープレートの使用板厚・ボルト孔の位置・補剛材の有無と位置・接触面の表面精度等により、継手部の剛性が変化し、この継手部の剛性が継手強度に大きく影響する。したがって、これら継手部構造の剛性評価法を今後、検討をする必要がある。

（土木関係において引張継手構造が設計基準に取り上げられないのは、継手強度が、ボルトの引張強度よりも継手部の細部構造の方が継手強度に大きく寄与し、複雑であるため、設計基準等への記載が困難であったのが原因であると考えられる。最近橋梁関係においても、引張継手構造の需要が高まり、各方面において引張継手構造の研究が進められ様としている。）

#### ③ 引張継手疲労耐力の確認

引張継手構造の疲労耐力の確認が必要。

以上のように、防水型引張継手構造は、これら基礎的な試験により、各種の課題を有しつつも、浮体構造物海上継手構造への適用の可能性があると考えられる。

なお、この開発研究は、当社前会長上前行孝氏発想の「水上浮体構造物およびその構築工法」（特許公開中）を基に行ったものであり、試験計画・継手強度評価等は株式会社宮地鐵工所が担当し、防水ゴム膜の各種試験は、横浜ゴム株式会社が分担して実施いたしました。

終りに、試験・計測に協力いただいた方々にお礼を申し上げます。

### <参考文献>

- 1) 日本建築学会；高力ボルト接合設計施工指針 S.58. 7
- 2) 日本鋼構造協会；高力ボルト接合、S.47
- 3) 小西一郎編；高力ボルト引張接合（鋼橋基礎編Ⅱ）
- 4) 鳥越弘行；応急橋主桁の高力ボルト引張接合併用継手疲労試験、宮地技報 No.4、1988. 3

1992.1.14受付