

3. ゴムガスケット

ゴムガスケットを可撓性継手構造に組み入れた従来の地震時許容目開き量は式-1 のように定義される（文献1）。

地震時許容目開き量=水圧接合時変形量—設計圧縮量（止水に必要な圧縮量）

—ばらつき量（鋼殻の不陸，温度変化等）—ガスケットの製作誤差—永久変形量……………式-1

ここに，永久変形量とは経年劣化（100 年相当）後のセット量のことで全高さの 16.5%とする。

水深 30～60m に設置する小判型の沈埋函（幅 16.8m，高さ 8.2m）の継手を検討するのに，実験データが豊富で一般的に用いられている GINA 型ゴムガスケットを選定した。図-3 は本体高さが 200mm の GINA 型ゴムガスケットを示しているが，以下に述べる 148mm のタイプも高さを除くと 200mm のタイプと同一の寸法である。

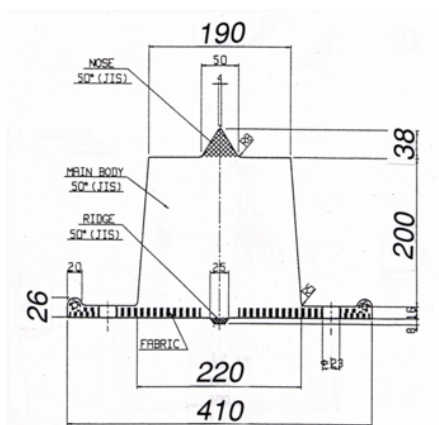


図-3 GINA 型ゴムガスケット
rubber gaskets (TYPE200)

本体高さが 200mm と 148mm の 2 ケース（以下 TYPE200，TYPE148 と呼ぶ）について，式-1 を用いて地震時許容目開き量を計算したところ，TYPE200 で約 20mm であり，TYPE148 は負の値（漏水する）となった。漏水しない TYPE200 でも地震時許容目開き量が 20mm では小さくて，本ケースの可撓性継手としては採用しづらく，この考え方を踏襲すると，ゴムガスケットの高さはさらに大きいものが必要になる。

これに対し，函体間のゴムガスケットは水圧接合を目的とし，変位は函体の中間にあらかじめ設ける継手構造

で対応することにすれば，地震時の目開き量および永久変形量を見積もる必要がないためガスケットの高さは低いタイプで設計できる。言い換えると，ガスケットは水圧接合後，最終的に剛結合にすれば，横倒れの心配のない高さの低いタイプが良い。本体高さが 148mm，硬度 50° のガスケットに関して，式-1 の地震時許容目開き量を位置修正時の許容目開き量，永久変形量を残留ひずみ量と読み換えて計算した結果を表-1 に示す。参考のため，TYPE200 で同様の計算を行った結果を表-2 に示す。

表-1 位置修正時の許容目開き量（TYPE148）

ガスケット全高さ (mm)	206				
設置水深 (m)	30	40	50	60	
水圧接合荷重 Fw (tf/m)	81.9	109.2	136.4	163.7	
水圧接合時圧縮量 (mm)	92	99	104	107	図-5
止水圧 (MPa)	0.34	0.44	0.54	0.64	
止水に必要な圧縮量 (mm)	27	37	49	62	図-6
ガスケットの製作誤差 (mm)	2.4	2.4	2.4	2.4	
施工上の誤差 (mm)	10	10	10	10	
残留ひずみ (mm)	15.5	15.5	15.5	15.5	実験
位置修正時の許容目開き量 (mm)	37.1	34.1	27.1	17.1	

表-2 位置修正時の許容目開き量（TYPE200）

ガスケット全高さ (mm)	258				
設置水深 (m)	30	40	50	60	
水圧接合荷重 Fw (tf/m)	81.9	109.2	136.4	163.7	
水圧接合時圧縮量 (mm)	116	125	131	136	図-5
止水圧 (MPa)	0.34	0.44	0.54	0.64	
止水に必要な圧縮量 (mm)	27	37	49	62	図-6
ガスケットの製作誤差 (mm)	2.4	2.4	2.4	2.4	
施工上の誤差 (mm)	10	10	10	10	
残留ひずみ (mm)	19.4	19.4	19.4	19.4	7.5%
位置修正時の許容目開き量 (mm)	57.2	56.2	50.2	42.2	

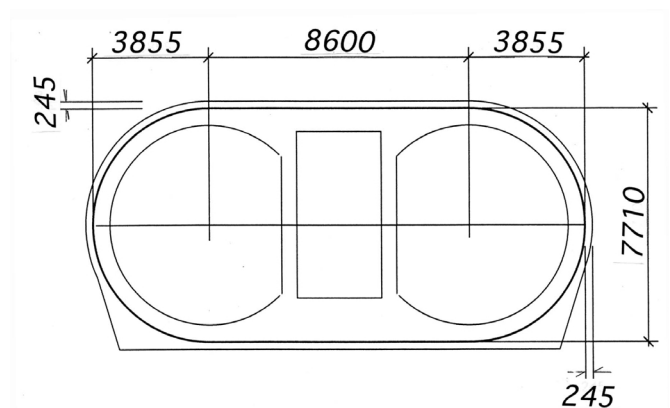


図-4 ガスケットの設置状況
setting

ガスケットの取り付け位置を外周から 245mm とする（図-4）と水圧接合に必要な断面積 S は 113m² であり，ゴムガスケットの周長 L は 41.4m となる。単位長さ当

たりのゴムガスケットにかかる水圧接合荷重 F_w は式-2 で表される。

$$F_w = P \cdot S / L \cdots \cdots \text{式-2}$$

ここに、 P は水圧である。

水圧接合時変形量および設計圧縮量（止水に必要な圧縮量）はメーカーの過去のデータ（文献2）を整理することで求めた。

図-5 はゴムガスケットの圧縮特性図であり、荷重に対する変位量を示す。凡例の数字はゴムガスケットの高さ、カッコ内はゴムの硬度である。

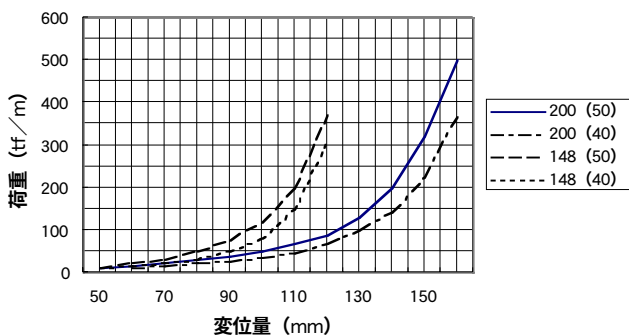


図-5 ギュガスケットの圧縮特性図

Typical compress curves

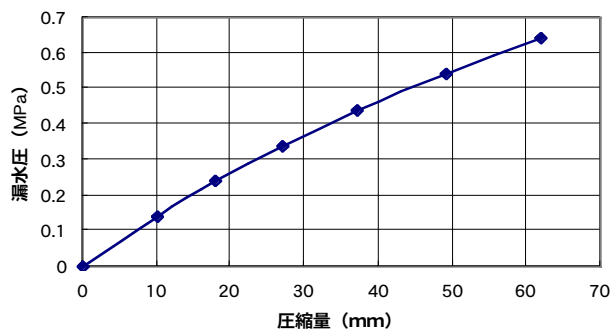


図-6 ギュガスケットの止水性能(TYPE200)

Leakage of water

図-6 は高さ 200mm、硬度 50 のギュガスケットの止水性能を示している。実験は水圧接合状態から外水圧を一定に保ったままガスケットの荷重を除去していき、漏水が生じた時の圧縮量と外水圧をプロットしたものである。（文献2）高さが 148mm、硬度 50 のデータがないため、表-1 の計算には高さが 200mm のデータを使用しているが、これは安全側の値である。

残留ひずみ量は、水圧接合から位置修正までに要する期間を考慮して 11 日後の値（今回、実験で求めた）と

した。許容目開き量 17.1mm は函尾の位置修正量 100mm に相当し、施工上十分な値と考える。

なお、TYPE200 の場合、計算で求めた接合時許容目開き量は 42mm であり（表-2）、余裕のあることが分かる。しかし、ギュガスケットの横倒れを考慮すると、TYPE148 で施工条件を十分に満足する。

4. 数値解析

ここでは、水深 60m における水圧接合および位置修正工程におけるギュガスケットの挙動を FEM による数値解析で求めた。図-7 は TYPE148 のガスケットの解析モデルであり、クランプ金具を含めてモデル化している。ゴムは硬度 50 度の天然ゴムであり、大水深対応ということでフランジにナイロン平織り布を補強材として使用し、先端部をビード構造にした。

ゴムの物性は実際の圧縮特性（図-5）が表現できるように調整しており、ガスケット側面の水圧差も考慮している。

ノーズが圧縮され、ガスケットの肩が相手の函体に接触した時点として、水圧を与えはじめ、途中の水圧は、水圧接合後、函体内の水を排除した状態（圧縮量が 107mm になった時点）の水圧を 0.6MPa として、水圧差を比例配分している。

図-7 は TYPE148 の解析モデルであり図-8 は水圧接合時（荷重 163.7tf/m）のガスケットの変形図である。

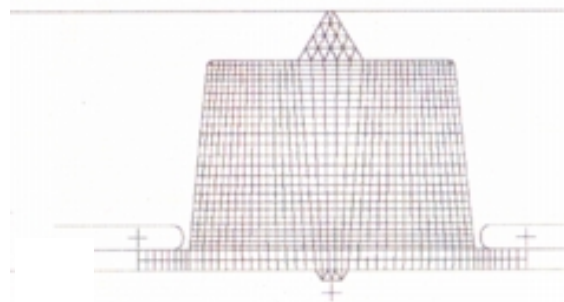


図-7 解析モデル(TYPE148)

model

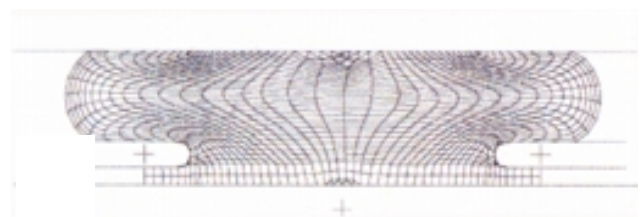


図-8 水圧接合時の変形図(TYPE148)

transformation at connection

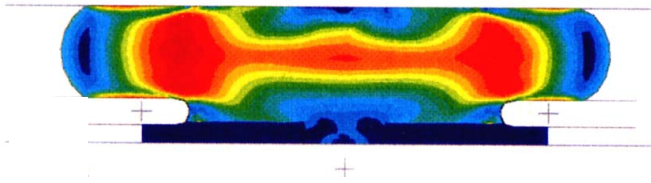


図-9 水圧接合時のひずみ分布図(TYPE148)
strain at connection

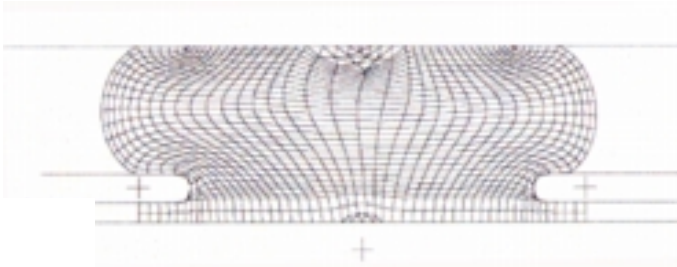


図-10 位置修正時の変形図(TYPE148)
transformation at realignment

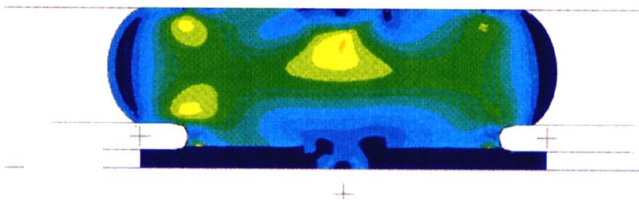


図-11 位置修正時のひずみ分布図(TYPE148)
strain at realignment

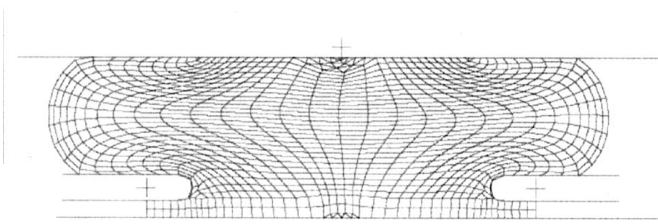


図-12 水圧接合時の変形図(TYPE200)
transformation at connection

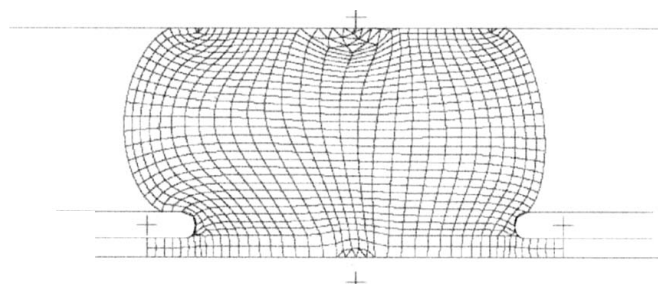


図-13 位置修正時の変形図(TYPE200)
transformation at realignment

図-9 はその時のひずみ分布であり，どちらも水圧の影響を感じさせない．最大圧縮時の主ひずみは 187%であったが，材料の破断は伸び量が 500%以上なので問題はない．肩部の接触圧は 1.8MPa あり，水圧が 0.6MPa に対して 3 倍あるため，止水性も良好と考える．

図-10 は接合した函体の位置修正時の変形図である．圧縮量を 17.1mm 戻している．内外の圧力差により変形量に差があるが，ガスケットが倒れる状態ではない．図-11 は，その時のひずみ分布を表す．最大圧縮時の主ひずみは 187%であったが，材料の破断は伸び量が 500%以上なので問題はない．

参考として図-12 に TYPE200 の水圧接合時のガスケットの変形図を示す．また，図-13 は接合した函体の位置修正時の変形図である．TYPE148 と比較して，水圧による影響が著しい．図に示していないが，最大圧縮時の主ひずみは 203%であり，TYPE148 と同様に問題のない値である．ただし，ガスケットの接触圧は 0.7MPa であり，高さが高くなると 0.6Mpa の水圧下での止水性が厳しくなることを確認した．

5. まとめ

沈埋函の函体内に大変形に追従できる継手を設けると，函体の水圧接合時に高さの低いゴムガスケットで対応でき，横倒れの不安も少ない．その上，計算によると止水性から好ましい結果となった．また，ゴムガスケットを使用した函体の接合部に図-1 に示す止水ゴムや耐力材を組込むことも可能であり，函体の内部に大変形追従型の継手を設けなくても良い場合もある．今後の課題としたい．

最後に，今回の検討に御協力いただいた関係会社に対して，感謝の意を表します．

参考文献

- 1)建設省土木研究所地震防災部・耐震研究室：沈埋トンネル可撓性継手の動的剛性の評価方法，土木研究所資料第 1859 号，pp19～28，1982.8
- 2)横浜ゴム（株）社内データ