

試験名

実験室での試験による、取り付けたステンレス鋼製 Swagelok®チューブ継手の震度分析

概要

取り付けたステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手は、2 回の大規模地震の際も一切漏れを生じることなく、その性能を維持したと報告された。その後、顧客からの要請を受け、実験室での試験による製品ラインの震度分析を行い、その性能を調べた。

ステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手の実験室における振動試験により、地震励起の際のチューブ・システムの共振に起因する増幅の有リ／無しの両方のパターンで取り付けを行ったチューブ継手に伝わった地震の最大地動加速度 (PGA) 強度のシミュレーションを行った。

- チューブ・システムの共振が存在しない場合、地震 (最大規模は、改正メルカリ震度階: **10**、大森震度階: **7**、リヒター震度階: **9** とする) に対応する PGA 強度のシミュレーションを行い、漏れのない性能を振動試験によって立証した。
- チューブ・システムの共振効果が存在する場合、地震 (最大規模は、改正メルカリ震度階: **8**、大森震度階: **7**、リヒター震度階: **8** とする) に対応する漏れのない性能を振動試験によって立証した。

本分析は、実験室における振動台試験および高衝撃試験によって震度階の比較を行うもので、震度の製品仕様を表すものではありません。

試験対象製品

ステンレス鋼チューブに取り付けた、以下に記載するステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手

表 1

チューブ 外径サイズ	チューブ継手 型番	試験を行った 継手エンドの数	チューブ肉厚 (mm)
振動台試験			
インチ・サイズ・チューブ			
1/4 インチ	SS-400-6	2	0.89
1/4 インチ	SS-400-6	2	1.65
1/2 インチ	SS-810-6	6	1.24
1 インチ	SS-1610-6	2	2.77
1 1/2 インチ	SS-2400-6	6	3.40
ミリ・サイズ・チューブ			
10 mm	SS-10M0-6	1	1.0
15 mm	SS-15M0-6	1	1.5
18 mm	SS-18M0-6	1	1.5
22 mm	SS-22M0-6	1	2.0
28 mm	SS-28M0-6	1	2.0
高衝撃試験			
1/4 インチ (試験 A)	SS-400-6	2	0.89
1/4 インチ (試験 A)	SS-400-6	2	1.65
1 インチ (試験 A)	SS-1610-6	2	2.77
1 インチ (試験 B)	SS-1610-6	10	2.77

震度の尺度として、まずは最大地動加速度 (PGA) [参考文献 1] が挙げられる。震度およびそれに対応する公称 PGA を、リヒター震度階および他の 2 つの主要な震度階 (改正メルカリ震度階 [参考文献 2] [参考文献 3]、および大森震度階 [参考文献 4] [参考文献 5]) との間で比較した。リヒター震度階のマグニチュードに基づいた公称 PGA は、公式 1 [参考文献 6] によって相互関係を示している。補足資料 1 では、PGA と上記 3 種類の震度階とを並べて比較している。最大地動速度と最大地表変位との比較は行わなかった。

$$\log a_0 = -2.1 + 0.81 M - 0.027 M^2 \quad (1)$$

M = リヒター震度マグニチュード
 a_0 = PGA (cm/sec²)

取り付けた Swagelok チューブ継手の実験室での試験を行い、算出した相当 PGA、または試験における駆動振動の最大振動加速度を用いて調べた。地球表面 (G) における重力加速度の観点から、公式 2 に基づいて PGA を算出した。Swagelok チューブ継手が漏れのない性能を維持するという試験条件においては、対応する震度階のマグニチュードの公称 PGA との比較を行った。

$$\text{相当 PGA} = d_{\max} (2 \pi f)^2 / (981 \text{ cm/sec}^2) \quad (2)$$

d_{\max} = 駆動振動の最大偏位 (cm)、全変位振幅の半分

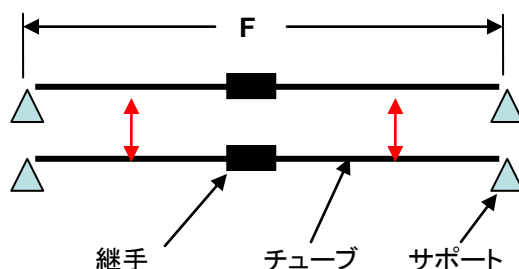
f = 駆動振動の周波数 (Hz)

$G = a_0 / (981 \text{ cm/sec}^2)$

試験手順

(a) **台振動試験 (パート 1)** – 2 個のチューブ・サポートを振動台に固定し、その間のチューブに取り付けた Swagelok チューブ継手の台振動試験を行った。図 1 を参照のこと。

図 1: 台振動のセットアップ



台振動試験は、ASTM F1387 [参考文献 8] に従って、室温の実験室条件下にて、サウスウェスト研究所の施設 [参考文献 7] で行った。試験で使用したセットアップは、図 1 に示している。チューブ・サポート間の長さ「F」(これも ASTM F1387 から)、および振動試験中およびその後におけるチューブ継手の試験圧力は、チューブ継手のサイズ毎に表 2 に示す通り規定した。

表 2: 振動試験に使用したチューブ継手アセンブリのセットアップ (パート 1)

チューブ 外径サイズ (インチ)	チューブ肉厚 (mm)	F チューブ・サポート の間隔 (mm)	水圧試験の 内部圧力 (MPa)	振動試験後の 水圧 (MPa)
1/4	0.89	420	25.9	38.8
1/4	1.65	420	25.9	38.8
1/2	1.24	480	22.7	34.1
1	2.77	640	25.9	38.8
1 1/2	3.40	790	22.7	34.1

試験に使用した継手は、Swagelok チューブ継手の取り付け方法[参考文献 9]に従って取り付け、指定の圧力まで水圧をかけてから、MIL-STD-167(タイプ 1—環境振動)[参考文献 10]に従って台振動試験を行った。この試験では、3つの独立した手順(可変周波数、探査振動、耐久性振動)を連続して繰り返し行った。3つの振動試験はそれぞれ 3 回連続で行い、チューブ継手アセンブリーの各直線軸における入力振動変位の方向(チューブ軸に対して縦方向、および「x」と「y」がチューブ軸に対して垂直)を毎回変更した。

可変周波数試験(4~50 Hz)は、表 3 に示す通り、1 Hz 毎に 5 分間の休憩を設けつつ、規定の単一振幅入力変位を維持した。また、相当 PGA 範囲も示し、共振増幅が無いものと仮定して(公式 2 による)、各変位における駆動周波数の範囲を算出した。

表 3: 可変周波数試験の入力変位および相当 PGA

変数表の周波数(f)範囲 (Hz)	単一振幅(d_{max}) 入力変位 (mm)	相当 PGA 範囲 (G)
4~15	0.76	0.05~0.69
16~25	0.51	0.53~1.28
26~33	0.25	0.68~1.10
34~40	0.13	0.60~0.84
41~50	0.08	0.54~0.80

すべての可変周波数試験について、振動中および振動後いずれにおいても、(水圧による)チューブ継手の漏れは検出されなかった。試験では、すべての Swagelok チューブ継手に対して、最大で 1.28 G の相当 PGA を適用した。このマグニチュードは、改正メルカリ震度階:10、大森震度階:7、リヒター震度階:9 に相当し、地震発生時の PGA 増幅を誘発する共振に直面しないチューブ継手と比較する。

探査試験では、特に振動台のチューブ継手アセンブリーにおける共振応答を調べた。加速度計は、チューブ継手および振動台にセットした。15 秒間、それぞれ 1 Hz の休憩にて維持しながら、0.25 mm の単一振幅変位にて 4~33 Hz の範囲で、次に 0.08 mm の単一振幅にて 34~50 Hz の範囲で周波数を掃引させた。

振動における共振または疑似共振応答が重要である理由は、チューブ継手の接続部分でのチューブの左右の振動曲げ湾曲を誘発するためである。これは、共振応答が見られない場合は発生することはない。

疑似共振応答は、一部の継手には見られたものの、すべてのサイズではなかった（台振動試験[パート 2]の結果の方が良好であった）。各チューブ継手サイズについて、伝達最大増幅加速度率（振動台にて同様に適用された継手で測定された最大振動加速度）、および最大応答が見られた周波数を表 4 に示している。最大応答は周波数掃引の下限（4 Hz）にて見られたため、応答は共振の最大ピークではなかった可能性がある。

表 4: 振動共振応答の結果[パート 1]

チューブ 外径サイズ (インチ)	チューブ肉厚 (mm)	周波数が見られた 最大伝達加速度率
1/4	0.89	6.0、4 Hz にて
1/4	1.65	3.0、4 Hz にて
1/2	1.24	1.0、4～50 Hz にわたって
1	2.77	6.5、4 Hz にて
1 1/2	3.40	1.0、4～50 Hz にわたって

耐久性試験は、可変周波数試験で使用したのと同じ規定の振動台振幅で、最大の伝達加速度率を示した周波数で 2 時間にわたって振動を加えた。共振効果が見られなかったサイズについては、周波数の掃引の上限（50 Hz）で耐久性試験を行った。

すべての耐久性試験について、振動中および振動後いずれにおいても、チューブ継手の漏れは検出されなかった。振動台のチューブ・アセンブリーに取り付けた上記サイズのチューブ継手は共振応答を示し、台の駆動振動は 0.05 G 以下の相当 PGA をシミュレートした（表 3 による）。このマグニチュードは、改正メルカリ震度階:5、大森震度階:2、リヒター震度階:6 に相当する。この最大値は、地震発生時に取り付けた Swagelok チューブ継手に対する PGA の共振誘発増幅に直面しないチューブ・システムに相当するが、数値が低すぎるため、有意義な Swagelok チューブ継手の性能比較を示すことはできない。

(b) **台振動試験[パート 2]**—チューブ継手アセンブリーの共振応答をさらに詳しく調べるため、スウェーデンロック社の施設において、JIS E 4031[参考文献 11]に基づいた実験室環境(室温)にて台振動試験を行った。ASTM F1387[参考文献 8]に従って使用したセットアップと同じものを図 1 に示している。長さ「F」および試験圧力(振動試験開始時および試験後)は、チューブ継手のサイズ毎に、表 5 に示す通り指定した。振動試験の間、チューブ継手アセンブリーに対する加圧は行わなかった。

表 5: 振動試験に使用したチューブ継手アセンブリーのセットアップ[パート 2]

チューブ 外径サイズ (mm)	チューブ肉厚 (mm)	チューブ・ サポートの間隔 「F」 (mm)	水圧試験の 内部圧力 (MPa)	窒素試験の 内部圧力 (MPa)
10	1.0	600	1.00	1.00
15	1.5	600	1.00	1.00
18	1.5	600	1.00	1.00
22	2.0	600	1.00	1.00
28	2.0	600	1.00	1.00

試験に使用した継手は、Swagelok チューブ継手の取り付け方法[参考文献 9]に従って取り付け、空気圧および水圧試験を行ってから、振動台に固定し、加速度計をチューブ継手および振動台にセットした。常時、周波数を掃引させ、5~190 Hz の範囲で 2 回上下させた。また、一定の相当 PGA(0.50 G)をシミュレートした台において、台の単一振幅変位を算出および測定した加速度で変動させた。

この周波数を各チューブ継手に対して 3 回連続で掃引させ、毎回、チューブ継手アセンブリーの各直線軸における入力振動変位の方向(チューブ軸に対して縦方向、および「x」と「y」がチューブ軸に対して垂直)を変更した。周波数の掃引の割合は、各チューブ継手の各軸について 5 時間ずつの振動で、合計 15 時間行った。

共振応答は、全サイズにおいて見られた。チューブ継手のサイズ毎に、最大応答が見られた時の最大増幅伝達加速度率および周波数を表 6 に示している。この応答はすべて、共振の最大ピークを表している。

表 6: 振動共振応答の結果[パート 2]

チューブ 外径サイズ (mm)	周波数が見られた 最大伝達加速度率	チューブ 外径サイズ (mm)	周波数が見られた 最大伝達加速度率
10	5.5、170 Hz にて	22	5.5、139 Hz にて
15	3.1、141 Hz にて	28	7.4、139 Hz にて
18	4.0、133 Hz にて		

振動の前後いずれにおいても、チューブ継手の漏れは検出されなかった。すべてのサイズのチューブ継手について、台の駆動振動は 0.05 G の相当 PGA をシミュレートした。このマグニチュードは、**改正メルカリ震度階:8、大森震度階:7、リヒター震度階:8** に相当し、地震発生時に取り付けた Swagelok チューブ継手に対する PGA の増幅を誘発する共振に直面するチューブ・システムに相当する。

(c) **高衝撃試験**—極限の振動加速度試験を適用するため、MIL-S-901D(グレード A、クラス 1、タイプ A、カバー取り付け)[参考文献 12]に従って、さまざまなサイズのステンレス鋼製 Swagelok チューブ継手を取り付け、高衝撃試験を繰り返し行った。この規格で規定する通り、「この要件の目的は、核兵器または非核兵器の影響が原因で、戦時中に生じる衝撃荷重に耐える船上装置の性能を証明することである」。

Swagelok チューブ継手ユニオンを、チューブ 2 本に取り付けた。衝撃試験 A では、衝撃試験装置の金床に固定したチューブ 1 本にチューブ・サポートを 1 個取り付け、各試験アセンブリを片持ち梁に吊るした。チューブ継手ユニオンはすべて、チューブ・サポートから 51 mm 離れた位置に取り付けた。もう 1 本のチューブについては、表 7 に示す通り、チューブ継手ユニオンから既定の間隔(表 7 参照)で、既定のフリー・ウェイトを固定した。衝撃試験 B では、図 1 に示す通り、各試験アセンブリをチューブ・サポート 2 個に取り付けた。その際、「F」の間隔は 417 mm とした。

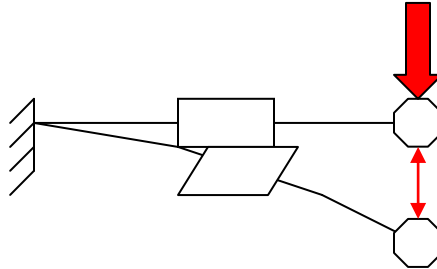
表 7: チューブ継手アセンブリの高衝撃試験のセットアップ

チューブ 外径サイズ	フリー・ウェイト (kg)	フリー・ ウェイト・ チューブの 間隔 (mm)	水圧試験の 内部圧力 (MPa)	衝撃水圧試験 後の圧力 (MPa)
1/4 インチ (試験 A)	1.3	190	25.9	38.8
1/4 インチ (試験 A)	1.5	190	25.9	38.8
1 インチ (試験 A)	32	370	25.9	38.8
1 インチ (試験 B)	—	370	25.9	38.8

高衝撃試験 A は、実験室条件下(室温)にて、サウスウェスト研究所の施設[参考文献 7]で行った。試験に使用した継手は、Swagelok チューブ継手の取り付け方法[参考文献 9]に従って取り付け、表 7 に示す通り、衝撃試験中に指定の圧力まで水圧をかけた後、衝撃試験後にも再度 10 分間にわたって水圧をかけた。高衝撃試験 B は、Aero Nav Laboratories 社の施設[参考文献 13]で行い、試験に使用した継手は、衝撃を加えた後および衝撃水圧試験後にさらに追加で 1 分間にわたって 103 MPa の水圧をかけた。

試験圧力下で、試験 A では図 2、試験 B では図 1 に示す通り、各 Swagelok チューブ継手ユニオンに高衝撃を加えた。高衝撃試験では、試験アセンブリを取り付けた金床に規定の 0.30 m、0.91 m、1.5 m の高さから、台の各直線軸で繰り返しハンマーを落下させた。

図 2: 高衝撃試験のセットアップ



衝撃加速度の上限値を誘発する相当 PGA 地震駆動体を算出するにあたって、まずは駆動周波数およびチューブ・システムの調和特性[参考文献 14]に応じて、取り付けたチューブ継手に対する、振動加速度のシステム共振増幅と関係がある公式 3 から始める。

$$\frac{\text{試験継手に対する最大加速度}}{\text{最大地表加速度}} = \left[\frac{1 + (2\xi r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

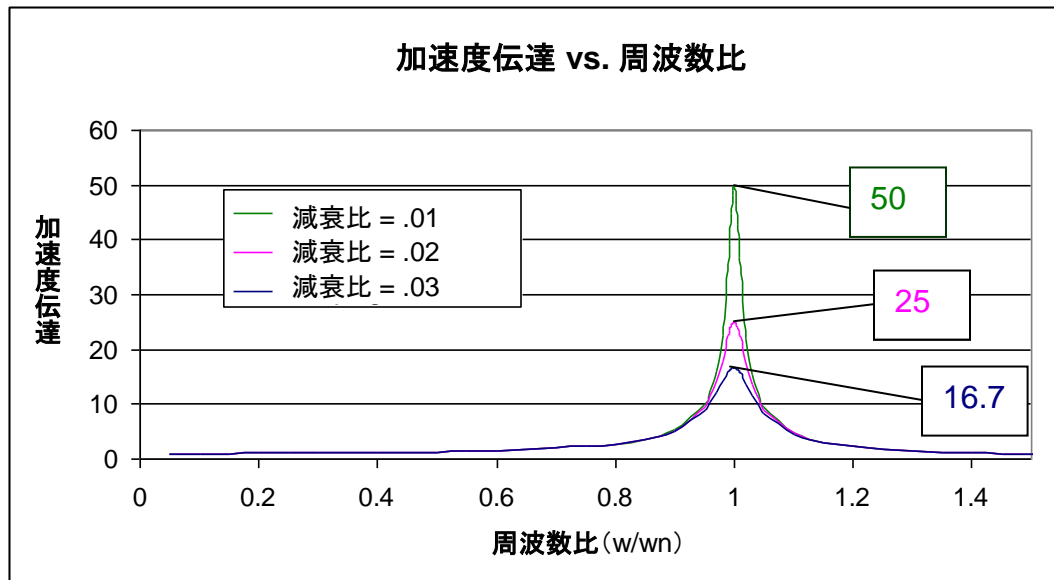
ξ = 減衰比
 r = 周波数比 (ω/ω_n)

減衰比(ξ)は、システムの重大な減衰の間の、システムにおける減衰(内在または材質)の割合と定義される。重大な減衰は、振動システムが平衡位置を超えることなく、最短時間[参考文献 14]内で平衡に戻る減衰のレベルと定義される。

チューブおよびチューブ継手システムにおける減衰とは、運動している構造物のエネルギー喪失である履歴減衰と考えられる。「履歴減衰において、繰り返し内部変形および元の形状への回復に関わるエネルギーの中には、固体の結晶格子の不規則な振動、および流体内の分子の不規則な運動エネルギーの形で分散するものがある。」[参考文献 15] 一般的なチューブ継手およびチューブ・システムの場合、減衰比は 0.01~0.03[参考文献 16]の範囲である。

周波数比(r)は、取り付けたチューブ継手およびその他の部品から構成されているチューブ配管システムの固有周波数に対する、接地輪駆動(または地震の)振動の周波数(ω)の割合である。システムの固有周波数は、取り付けた部品の量およびチューブのばね定数に基づいている。加速度の最大伝達は、共振または $r=1$ で生じる。この値を使用して、PGA 地震駆動体から最大割合または継手加速度の増幅を見つけた。公式 3 を適用し、増幅された加速度伝達は、図 3 に示す通り、16.7~50 の範囲となる可能性がある。

図 3: 加速度伝達



最後に、衝撃の際に伝わる加速度について、高衝撃試験の文献調査を行った。加速度のピーク値は、250～550 g の範囲で測定した[参考文献 17]。G 相当加速度を誘発するこの範囲の衝撃の下限値(250)は、PGA 地震駆動体(図 3 では 50)からのチューブ継手の加速度の最大増幅で割って、最小相当 PGA(5.0)を算出する。この最小値は、**補足資料 1** の主要な震度階に記載している最大地震 PGA(2.04)をなお大きく上回っている。あらゆるケースにおいて、この衝撃加速度の上限値でも、チューブ継手は漏れを生じることなく、その性能を維持した。

この試験結果は、Swagelok チューブ継手の堅牢な性能を示す一方、高衝撃試験は震度階の比較のみにとどまるものではない。むしろこの結果は、本テスト・レポートの**概要**の項、および以下に記載する**試験結果**の要約に記載している通り、台振動試験から得られた類似性を裏付けるものである。

試験結果

台振動試験[パート 1]—主要な地震を大きく超える持続期間で、台振動の駆動ピーク加速度に基づき、試験に使用した継手に対するピーク加速度の増幅に基づいたチューブ・システムの共振は無いものと仮定し、最大地動加速度と比較したピーク台振動加速度に Swagelok チューブ継手をさらした。この最大地動加速度は、最大で**改正メルカリ震度階:10、大森震度階:7、リヒター震度階:9**という地震に相当する。

いかなる振動にさらされても、150%の試験圧力を加えてから振動にさらしても、チューブ継手の漏れは検出されなかった。



製品テスト・レポート

PTR-3216

Swagelok Company
29500 Solon Road
Solon, Ohio 44139 U.S.A.

Rev. -
September 2012
Page 10 of 14

台振動試験[パート 2]— 主要な地震を大きく超える持続期間で、台振動の駆動ピーク加速度に基づき、特に試験に使用した継手に対するピーク加速度の測定増幅(3.1~7.4)を伴うチューブ・システム共振の周波数で、最大地動加速度と比較したピーク台振動加速度に Swagelok チューブ継手をさらした。この最大地動加速度は、最大で**改正メルカリ震度階: 8、大森震度階: 7、リヒター震度階: 8**という地震に相当する。

いかなる振動にさらしても、試験の前後を通して、継手の漏れは検出されなかった。

高衝撃試験— 試験に使用する継手を取り付け、ハンマーで叩くことで繰り返し連続して高加速度にさらし、この実験室用のセットアップに対する衝撃が誘発する加速度の事前調査および測定に基づき、算出した最小ピーク駆動加速度に Swagelok チューブ継手をさらした。これは、チューブ・システム共振の最悪の事態を想定したもので、3つの主要な震度階の最高レベルに相当する最大地動加速度の2倍を超えるものである。

衝撃試験を繰り返して行っても、継手の漏れは検出されなかった。Swagelok チューブ継手を取り付けたチューブが修復不能な損傷を受けたケースもあったが、それでも漏れは検出されなかった。

この分析は、実験室における振動台試験および高衝撃試験の震度階の比較を行うもので、震度の製品評価を表すものではない。

本試験は、製品の推奨される使用条件を超えて行われたものです。製品カタログなどに記載されている仕様を超えて使用しないでください。

特定の用途を想定した試験ではないため、実際に使用される条件下での結果については保証いたしません。これらの選定条件や試験結果は、スウェージロック社が表明および保証を行うためのものではありません。また、実験室で行った試験のため、実際の使用条件を再現しているものではありません。圧力、温度などの技術情報につきましては、製品カタログをご参照ください。

安全な製品の選定について

安全にトラブルなく機能するよう、システム全体の設計を考慮して、製品をご選定ください。機能、材質の適合性、数値データなどを考慮し製品を選定すること、また、適切な取り付け、操作およびメンテナンスを行うのは、システム設計者およびユーザーの責任ですので、十分にご注意ください。

参考文献

- [1] *Elementary Seismology*, Charles F. Richter, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1958
- [2] *The Modified Mercalli Intensity Scale*, U.S. Geological Survey [20 July 2011], available from: <http://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>
- [3] *Structural Components and Systems For the Seismic Retrofit of Tilt-Up Buildings*, Mercalli XII, Inc. [20 July 2011], available from: <http://mercallixii.com/information/52-mercalli-scale1.html> and <http://mercallixii.com/information/15-the-richter-scale.html>
- [4] *The Omori Seismic Intensity Scale: the first Japanese Intensity Scale*, Andrew Alden, 2011 [20 July 2011], available from: <http://geology.about.com/od/quakemags/a/Omori-Earthquake-Scale.htm>
- [5] *Explanatory Table on the Japanese Meteorological Agency (JMA) Seismic Intensity Scale*, February 1996 [20 July 2011], available from: <http://urgences-tokyo.com/jma96.html>
- [6] *Earthquake Magnitude, Intensity, Energy, and Acceleration (Second Paper)*, B. Gutenberg and C. F. Richter, California Institute of Technology, Bulletin of the Seismological Society of America, April 1956, vol. 46, no. 2, p. 105-145
- [7] Southwest Research Institute, 6220 Culebra Road, San Antonio, Texas 78238-5166
<http://www.swri.org>
- [8] ASTM F1387 - 99(2005) *Standard Specification for Performance of Piping and Tubing Mechanically Attached Fittings*, ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959
- [9] MS-12-01 *Swagelok Tube Fitting Instructions*, Swagelok Company, 29500 Solon Road, Solon OH 44139
- [10] MIL-STD-167, 2 November 2005, *Department of Defense Test Method Standard: Mechanical Vibrations of Shipboard Equipment (Type 1 – Environmental and Type 2)*, Department of Defense, Documentation Automation and Productions Services, 5450 Carlisle Pike Bldg., 09, P.O. Box 2020, Mechanicsburg, PH 17055-0788
- [11] JIS E 4031, 11 March 2008, *Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*, Japanese Standards Association, 4-1-24 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8440 Japan
- [12] MIL-S-901D (Navy), 17 March 1989, *Shock Tests, High Impact Shipboard Machinery, Equipment, and Systems, Requirements for*, Commander, Naval Sea Systems Command, SEA 55Z3, Department of the Navy, Washington, DC 20362-5101
- [13] Aero Nav Laboratories, 14-29 112th Street, College Point, New York 11356
<http://www.aeronavlabs.com>
- [14] *Mechanical Vibrations (Fifth Edition)*, Singiresu S. Rao, Prentice Hall, September 2010
- [15] *Damping*, Encyclopædia Britannica [10 August 2011], available from <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/150616/damping>



製品テスト・レポート

PTR-3216

Swagelok Company
29500 Solon Road
Solon, Ohio 44139 U.S.A.

Rev. -
September 2012
Page 12 of 14

- [16] *Damping Properties of Materials Rev. C*, Tom Irvine, November 8, 2004 [7 September 2011], available from <http://www.cs.wright.edu/~jslater/SDTCOutreachWebsite/damping%20properties%20of%20materials.pdf>
- [17] *Shipboard Shock and Navy Devices for its Simulation*, NRL Report 7396, E. W. Clements, July 14, 1972, Naval Research Laboratory, Washington D.C.

製品テスト・レポート

PTR-3216

Swagelok Company
29500 Solon Road
Solon, Ohio 44139 U.S.A.

Rev. -
September 2012
Page 13 of 14

補足資料 1: 3 つの代表的な震度階の最大地動加速度 (PGA) 比較

改正メルカリ		大森 (JMA: 気象庁震度階級)		リヒター	
公称 PGA cm/s ² (G 相当)	スケールの説明	公称 PGA cm/s ² (G 相当)	スケールの説明	公称 PGA cm/s ² (G 相当)	スケールの説明
				0.05 (4.89E-6)	1. 微小な地震のため、揺れを感じない。
<1.67 (≤0.002)	1. 良好な条件下であっても、ほとんどのひとは揺れを感じない。			0.258 (2.63E-4)	2. 一般的に揺れを感じないが、地震計には記録される。
1.67 (0.002)	2. 特に高層階で、安静な状態のひとがわずかに揺れを感じる。			1.22 (0.001)	3. 揺れを感じるが、被害を受けることはほぼない。
7.7 (0.008)	3. 屋内にいる相当数のひとが、トラックが走行する時の振動に似た揺れを感じる。			5.1 (0.005)	4. 室内にある物が揺れ、ガタガタと音を立てるが、重大な被害を受けることはほぼない。
				18.8 (0.019)	5. 耐震性の低い建物は大きな被害を受ける。耐震性の高い建物はわずかな被害ですむ。
26 (0.027)	4. 屋内外を問わず揺れを感じ、トラックが建物に衝突した時のような亀裂が壁に生じる。	30 (0.031)	1. 強い衝撃を感じ、壁に軽微な亀裂が生じ、家具が横倒しになり、木が揺れる。		
64.3 (0.065)	5. ほぼ全員が揺れを感じ、不安定な物体が横倒しになる。	60 (0.061)	2. 木造の壁に亀裂が生じ、石造りの小規模建築物が横倒しになる。	61.4 (0.063)	6. 都市部における約 160 km のエリアが大きな被害を受ける。
		105 (0.107)	3. 1/4 の工場の煙突が倒壊し、れんが造りの建築物が半壊または全壊する。		
133 (0.136)	6. 全員が揺れを感じ、重い家具が移動することがあるが、被害はわずかである。				
		160 (0.163)	4. すべての工場の煙突が崩壊し、大部分のれんが造りおよび一部の木造の家が倒壊し、地割れが生じる。	177 (0.180)	7. 広範囲のエリアが深刻な被害を受ける。



製品テスト・レポート

PTR-3216

Swagelok Company
29500 Solon Road
Solon, Ohio 44139 U.S.A.

Rev. -
September 2012
Page 14 of 14

255 (0.260)	7. 建物に軽微～深刻な被害が生じる(被害のレベルは構造物の耐震性によって異なる)。	225 (0.229)	5. すべてのれんが造りの家屋が深刻な被害を受け、3 %の木造家屋が倒壊する。		
		325 (0.331)	6. 50～80 %の木造家屋が倒壊し、鉄橋が崩落し、木橋が半壊または全壊する。		
485 (0.494)	8. 相当数の建築物が被害を受け、一部は崩壊し、重い家具が横倒しになる。	≥ 400 (≥ 0.408)	7. 一部の木造建築物を除き、すべての建物が倒壊する。	449 (0.458)	8. 数百 km にわたるエリアが深刻な被害を受ける。
927 (0.945)	9. すべての建物が深刻な被害を受ける。建物の基礎にずれが生じる。			1000 (1.02)	9. 数千 km にわたるエリアが壊滅的な被害を受ける。
1220 (1.24)	10. 耐震性の高い木造建築物が倒壊し、大多数の石造建築物が倒壊し、レールが曲がる。				
>1220 (>1.24)	11. ほぼすべての建築物が倒壊し、橋が崩落し、レールが大きく曲がる。				
>1220 (>1.24)	12. サイトやレベルのラインが破壊され、物が空中に飛ぶ。			2000 (2.04)	10. 非常に広範にわたるエリアで壊滅的な被害が広がる。地震計に記録されない。

この日本語版製品テスト・レポートは、英語版製品テスト・レポートの内容を忠実に反映することを目的に、製作いたしました。日本語版の内容に英語版との相違が生じないよう、細心の注意を払っておりますが、万が一相違が生じてしまった場合には、英語版の内容が優先されますので、ご注意ください。