

樹脂パネルダクトの強度と耐震性に関する研究
 (第6報) 構造解析ソフトウェアによる樹脂パネルダクトの解析
Study on rigidity and earthquake resistance of resin panel duct
(Part 6) Analysis of resin panel ducts using structural analysis software

正 会 員 ○廣井 秀明 (フジモリ産業) 技術フェロー 水谷 国男 (元東京工芸大学・三建設備工業*)
 正 会 員 村田 孝友 (フジモリ産業) 非 会 員 松本 龍之介 (フジモリ産業)

*研究当時は東京工芸大学

Hideaki Hiroi *¹ Kunio MIZUTANI*² Takatomo MURATA*¹ Ryunosuke Matsumoto *¹

*¹ Fujimori Sangyo Co. Ltd. *² Sanken Setubi Kogyo Co. Ltd. (Tokyo Polytechnic University)

In this paper, numerical analysis is performed using structural analysis software on a resin panel duct (PIR duct), which is a polyisocyanurate foam board with aluminum foil attached, and the experimental results are reproduced to determine the limit of damage or breakage of the duct. Determine the stress level and clarify the allowable load and maximum displacement guideline for design and construction.

1. はじめに

前報¹⁾に引き続き、本報ではアルミニウム箔付きポリイソシアヌレートフォームボードを用いた樹脂パネルダクト (以下、PIRダクト) について、構造解析ソフトウェアを使用して数値解析を行い、実験結果を再現してダクトが損傷・破断する限界の応力度を求め、設計・施工する際の許容荷重と最大変位の目安を明らかとする。

2. 数値解析の概要

2.1 数値解析に用いたソフト

数値解析には、あらゆる形状の構造でも解析可能な汎用構造解析ソフトウェアMIDASを用いた。

2.2 解析ケース

解析は、3.64m及び12mの直管ダクト(300□、500□)、分岐ダクト(500□x300□)、90°エルボ(300□)について解析を行った。条件としては、3.64mの直管ダクトに中央集中荷重1,000N(100kg)をかけたとき、12mの直管ダクトに自重(1G)の荷重をかけたとき、分岐ダクト(500□x300□)、90°エルボ(300□、500□)に400Nの節点荷重をかけたときの条件で解析した。

3. 直管の静的実験結果と解析結果の比較

3.1 直管の静的実験概要と再現用解析モデル

実験は、図1に示すように1.82m間隔のローラーに支持されたダクトの中央に集中荷重を載荷した静的実験とそれを単純梁としてモデル化し変位を計算した値を比較した。

3.2 静的実験の再現解析結果

静的実験を再現した解析結果及び実験値を図2に示す。解析は、既報の静的実験300□及び500□と新たに実験行

った700□の中央集中荷重1,000N(100kg)での変位を再現した。

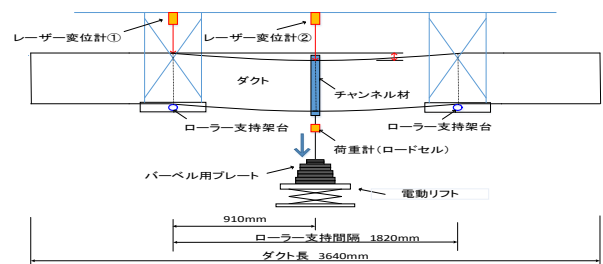
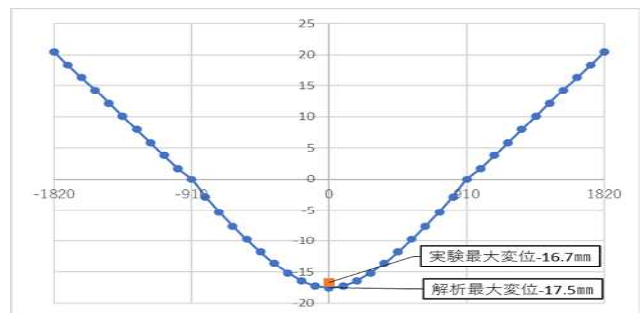
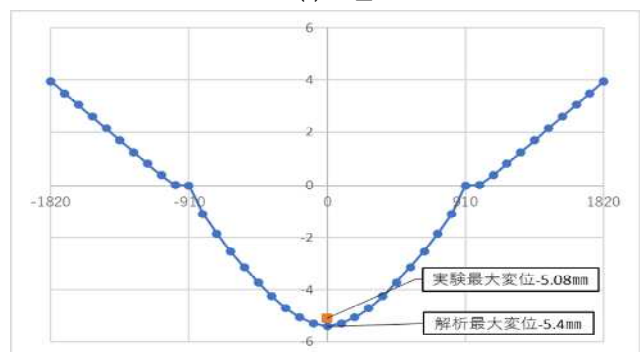


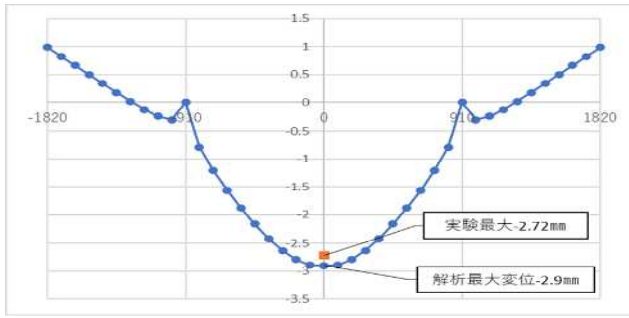
図1 静的載荷実験の状況



(1) 300□



(2) 500□



(3) 700□

図2 中央集中荷重 1,000N の鉛直変位解析結果

3.3 実験結果と解析結果の比較

表1に実験結果と解析結果の中央集中荷重 1,000 N (100 kg) での最大変位を示す。ダクトサイズ 500□と 700□の実験結果と解析結果の変位差は、0.32 mmと 0.18 mmと変位差はほぼなく、実験を再現出来ていると考えられる。ダクトサイズ 300□の実験結果と解析結果の変位差は、500□と 700□と比べると 0.8 mmと大きい為、許容荷重や最大変位の目安を決める上では安全側になっている。

その為、解析結果での許容荷重や最大変位の目安を明らかにすることは可能だと考えられる。

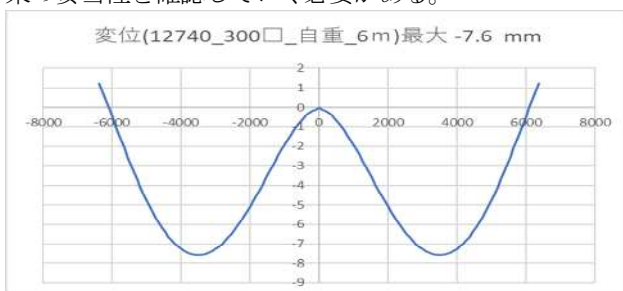
表1 実験結果と解析結果の最大変位比較表

	ダクトサイズ		
	300□	500□	700□
実験最大変位 (mm)	16.7	5.08	2.72
解析最大変位 (mm)	17.5	5.4	2.9
実験と解析の変位差 (mm)	0.8	0.32	0.18

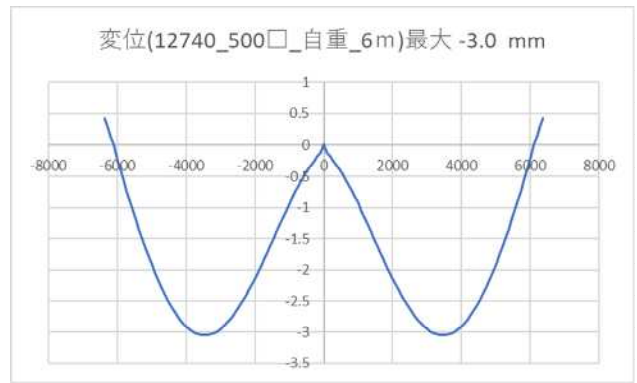
3.4 自重による変位の解析

ダクト長さ12m直管ダクトに支持間隔を6mの自重(1G)をかけたときの解析結果を図3に示す。解析結果より自重による変位(撓み)は支持間隔6mでは、ダクトサイズ300□の変位(撓み)が一番大きい、しかし数値としては7.6 mmと非常に小さい変位(撓み)となっており、既報で記載したPIRダクトはダクトサイズが小さくなると最大変位が大きくなる傾向があり、今回の解析結果も同じ傾向となっていることが確認できた。

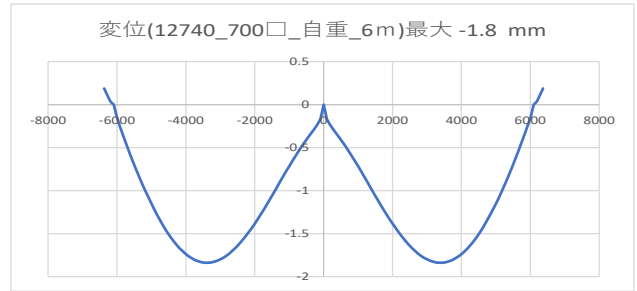
この解析結果からPIRダクト支持間隔について、現状の支持間隔(1.8m)より上げられる可能性があり、今後実験を行い支持間隔6mの変位を確認して今回の解析結果の妥当性を確認していく必要がある。



(1) 300□



(2) 500□



(3) 700□

図3 自重(1G)による変位解析結果

4. 継手の静的実験結果と解析結果の比較

4.1 分岐ダクトの静的実験概要と再現用解析モデル

試験体は主ダクト500□、枝ダクト300□のPIRダクトを使用する。分岐ダクトの実験配置図を、図4に示す。接合部から500mmの位置に設置した加力装置は、ワイヤーにより滑車を通じてアクチュエータに接続され、図4の青矢印の方向又は、赤矢印の方向に動く。この時の引張荷重を荷重計で測定し、変位をレーザー変位計で測定した実験とそれを再現した解析モデルで変位を計算した値を比較した。

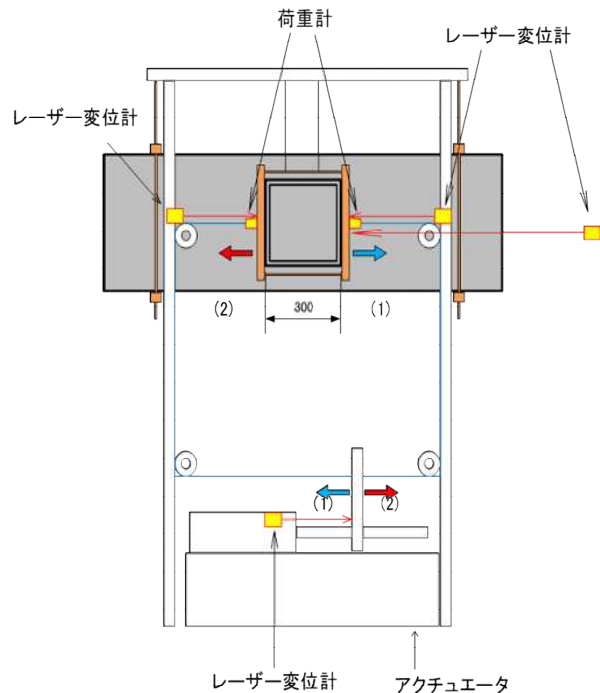


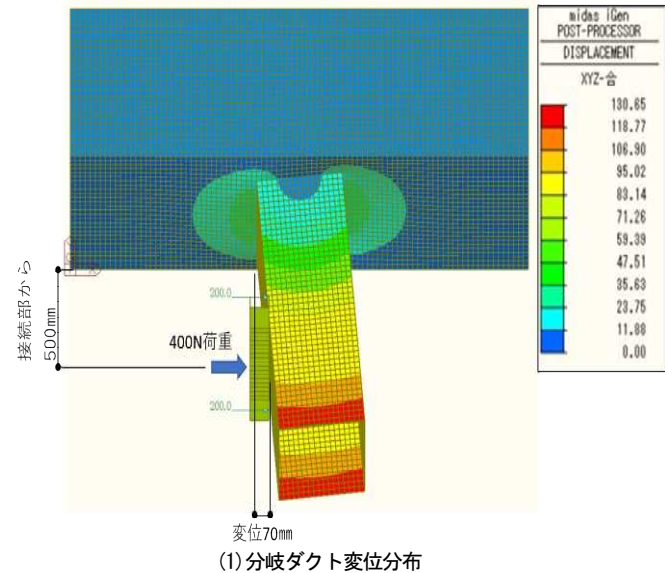
図4 分岐ダクトの実験配置図

4.2 分岐ダクトの実験結果と解析結果の比較

静的実験と同じように分岐ダクトを、接合部から 500 mm の位置で荷重を加えたときの変位分布と応力分布の解析結果を図 5 に示す。

解析結果は、応力分布の解析結果を見ると引張の力がかかる接合部に一番力が加わっている事がわかった。400N (40 kg) の荷重で解析を行った結果は、接合部から 500 mm の位置での変位は 70 mm となり、実際の静的実験結果と同等の値となった。

引張荷重を 400N とした理由は、実際の静的実験結果より、変位 ± 70 mm までは荷重を除去しても元に戻る状態になっている (以下、弾性化と称す) が、変位 + 80 mm (328N) は、変位 + 70 mm (352N) より引張荷重が小さくなっており、ダクト内部に不可逆な破損が生じて、荷重を除去しても元に戻らない状態になっている (以下、塑性化と称す) と考えられる。その為、弾性化の最大引張荷重である 400N で解析を行った。分岐ダクト静的荷重試験結果を表 2 と図 6 に示す。



(1) 分岐ダクト変位分布
(2) 分岐ダクト応力分布
図 5 分岐ダクト変位・応力分布解析結果

表 2 分岐ダクトの加力装置変位と引張最大荷重

加力装置変位	5	10	20	30	40	50	60	70
引張荷重最大値	23.499	46.3266	94.6674	157.5552	201.6438	228.7236	285.1212	352.2612
	80	90	100	110	120	130	140	150
	328.3146	367.9272	406.4208	436.8576	447.1524	451.8522	388.9644	416.7156
加力装置変位	-5	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70
引張荷重最大値	-23.9466	-51.474	-118.39	-181.278	-257.146	-308.396	-379.117	-456.328
	-80	-90	-100	-110	-120	-130	-140	-150
	-467.742	-478.484	-507.802	-550.1	-576.509	-598.441	-620.821	-659.539

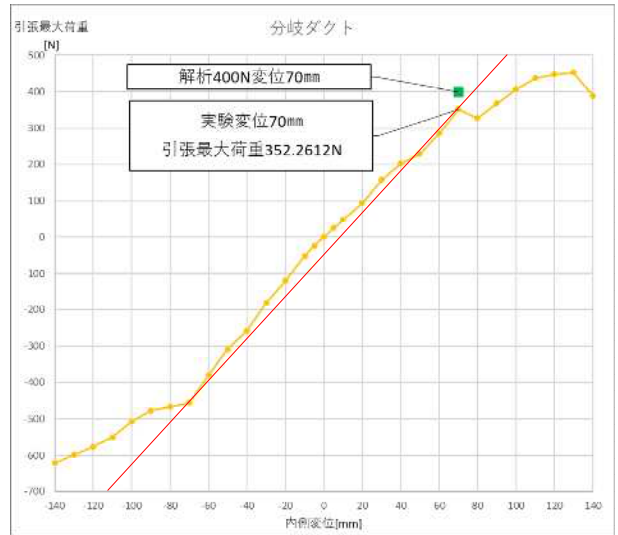


図 6 分岐ダクトの最大変位と最大引張荷重の関係

4.3 90° エルボの静的実験概要と再現用解析モデル

試験体は内径 300mm の PIR ダクトを使用する。90° エルボの実験配置図を、図 7 に示す。曲がり部から 500 mm の位置に設置した加力装置は、ワイヤーにより滑車を通じてアクチュエータに接続され、図 6 の青矢印の方向又は、赤矢印の方向に動く。この時の引張荷重を荷重計で測定し、変位をレーザー変位計で測定した実験とそれを再現した解析モデルで変位を計算した値を比較した。

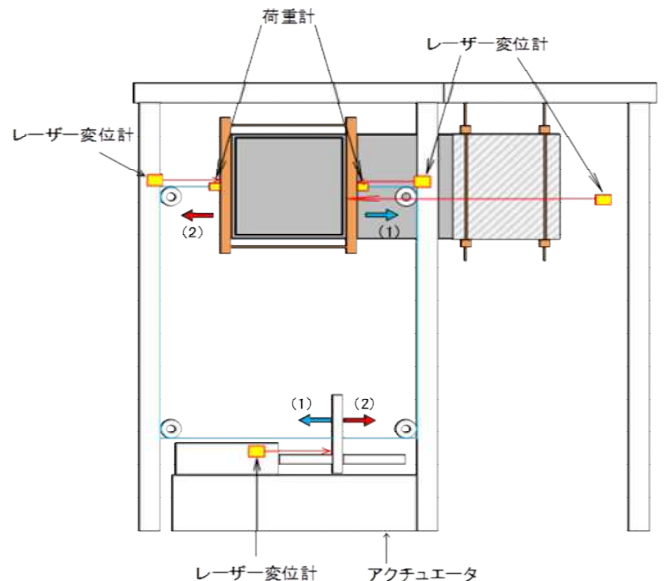


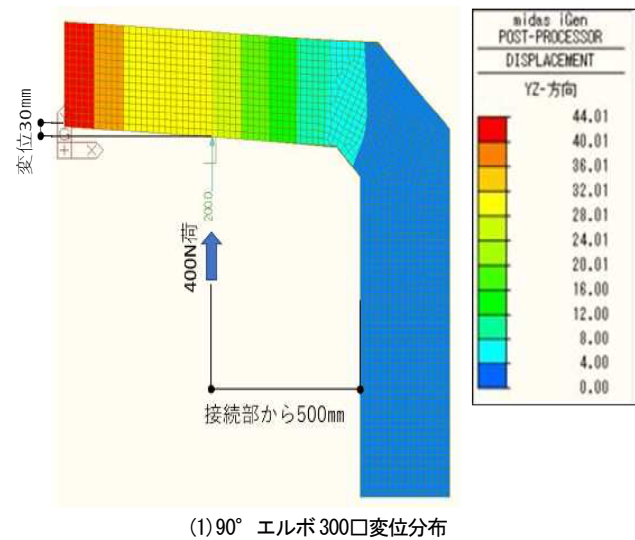
図 7 90° エルボの実験配置図

4.4 90° エルボの実験結果と解析結果の比較

静的実験と同じように300□の90° エルボを外側に引張ったときの荷重の変位分布と応力分布の解析結果を図8に示す。

解析結果は応力分布の解析結果を見ると内側の角部に強い応力が加わっていることがわかった。400N (40 kg) の荷重で解析を行った結果は、変位30 mmとなり、実際の静的実験結果と比較するとやや数値が低くなった。

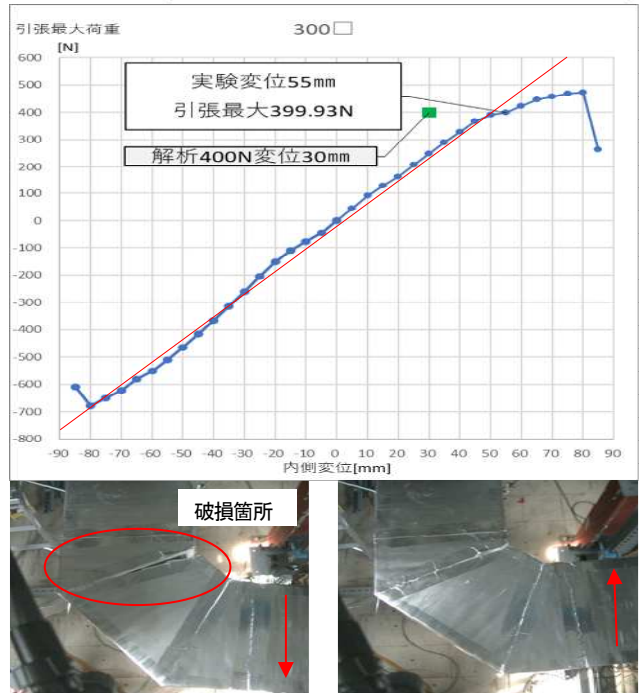
実際の静的実験結果は、+側 (図7 (2) 側赤矢印) の引張荷重の変位+50 mm (390N) までは、ほぼ直線状に増加しているが変位+55 mm (399N) から勾配が小さくなっており、この前後でエルボ内側接続部のコーキング及びアルミテープが部分的に破損していると考えられる。一方、-側 (図7 (1) 側青矢印) の最大荷重は、変位-80 mmまではほぼ直線状に増加するが、やはり変位-85 mmで最大荷重が低下している。このとき、エルボの外側接続部のコーキング及びアルミテープはさほど損傷していないことから、荷重低下の原因はエルボ内側の断裂によって内側の圧縮耐力が低下したためと考えられる。300□の90° エルボ静的荷重試験結果を表3と図9に示す。



(1) 90° エルボ 300□変位分布
(2) 90° エルボ 300□応力分布
図8 90° エルボ変位・応力分布解析結果

表3 90° エルボの加力装置変位と引張最大荷重

加力装置変位	5	10	15	20	25	30	35	40	45
引張荷重最大値	44.76	91.0886	128.991	162.9264	206.567	249.0894	290.0448	328.7622	365.1368
		50	55	60	65	70	75	80	85
		389.6358	399.9306	422.7582	447.3762	457.8948	468.861	472.8894	263.1888
加力装置変位	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
引張荷重最大値	-45.4314	-77.4348	-108.991	-151.289	-204.55	-259.384	-314.215	-366.137	-416.268
		-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80	-85
		-464.385	-510.712	-550.324	-581.432	-622.612	-650.81	-678.338	-609.184



(1) 変位+85 mm 90° エルボ内側断裂 (2) 変位-85 mm 90° エルボ
図9 90° エルボの最大変位と最大引張荷重の関係

まとめ

PIRダクトの3.6m及び12mの直管ダクト(300□、500□、700□)、分岐ダクト(500□x300□)、90° エルボ(300□)について構造解析ソフトウェアを使用して数値解析した。

その結果、PIRダクトの直管ダクトと分岐ダクトの数値解析の変位は、実際の静的載荷実験の変位とほぼ同等であることが確認出来た。

また、90° エルボの変位については、実際の静的実験結果と比較するとやや数値が低くなったが、恐らく荷重をかけた際のダクト厚みの潰れが影響したものと考えられる。応力分布の解析結果は、実際の静的実験結果と同様にエルボ内側の断裂した部分に応力が集中しているのがわかる為、このことから実験結果を再現出来ていると考える。

今回の構造解析ソフトウェアを使用したPIRダクトの数値解析は、ダクトの損傷・破断する限界の応力度を求め、許容荷重と最大変位の目安を明らかに出来たと考える。

【参考文献】

- 1) 村田 孝友、水谷 国男、廣井 秀明、京井 貴史：樹脂パネルダクトの強度と耐震性に関する研究 (第1報) (第3報)

【謝辞】

本研究の実施に当たり、東京工芸大学工学部水谷研究室卒研究生の方々をはじめ、実験に協力していただいた皆様に感謝の意を表します。