

軸衝撃力を受ける複合柱の波動応答

広島大学工学部 正会員 佐藤 誠
 広島大学工学部 学生員 ○村田 智哉
 石川島播磨重工業 正会員 久保田 善明

1. はじめに

1995年1月の兵庫県南部地震による阪神・淡路大震災では、多くの人的、物的被害をもたらした。本研究では、地震時に発生するとされる衝撃力が、鉄筋コンクリート製橋脚のような異種材料で構成された複合柱の軸方向に作用した場合を取り上げ、それぞれの構成材料を伝播する縦波速度の違いに注目し、複合柱の波動応答の基礎的研究として縦衝撃を受ける複合柱模型について実験および解析的に検討する。

2. 実験模型と解析モデル

実験には、動光弾性実験法を用いて模型内部の応力波伝播の可視化を行い、解析には、有限要素法による数値解析を用いた。

図-1に示すように、縦衝撃力は、入力棒を介した落錘衝撃を採用した。落錘は、直径2cmの鋼球を入力棒の上端へ衝撃速度4.85m/sで与えた。このときの衝撃力を図-2に示す。

実験模型は、複合柱のマトリクスをエポキシ樹脂とし、強化材を真鍮とアルミニウム角棒とした。図-3(a)に示すようなエポキシ樹脂のみの模型(モデル1)と、図-3(b), (c)に示すような複合柱模型(モデル2, 3)を選定した。模型はいずれも幅8cm、高さ25cm、厚さ1cmのエポキシ樹脂柱に強化材を接着して作成した。模型の下端を自由端とするためにゴム板を敷き、上端には鋼製の衝撃ブロックを置いて上端で一様変位を与えるようにした。なお、真鍮とアルミニウムの縦波速度はそれぞれエポキシ樹脂の2倍と3倍であり、音響抵抗はそれぞれ14.5倍と6.9倍である。

解析は、実験に用いたモデルを、問題の対称性より左半分についてのみ行った。衝撃荷重は、実験で得られた衝撃力を、モデル上端が一様変位するように分配して与えた。

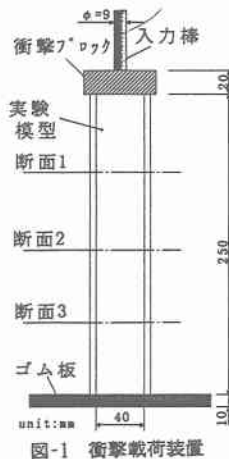


図-1 衝撃装置

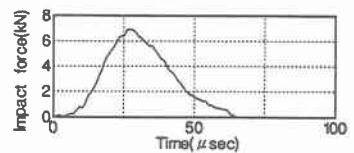


図-2 衝撃力

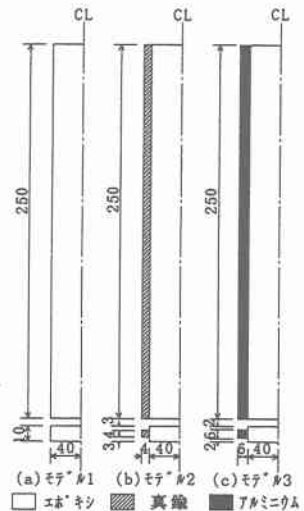
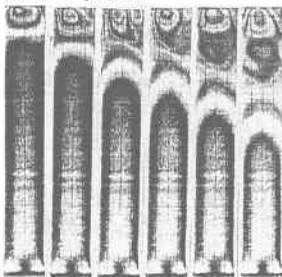
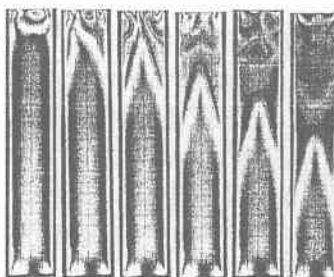


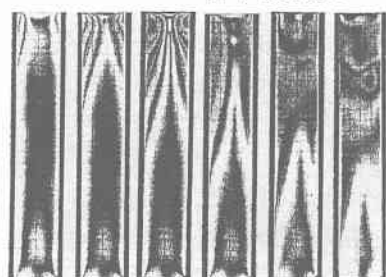
図-3 実験模型



10 20 30 40 50 60



10 20 30 40 50 60



10 20 30 40 50 60

写真1 モデル1の等色線縞模様(μs) 写真2 モデル2の等色線縞模様(μs) 写真3 モデル3の等色線縞模様(μs)

3. 結果および考察

写真1~3に、動光弾性実験で得られたモデル1~3の等色線縞模様を示す。

写真1において、縦波の波面を示す等色線縞は伝播と共に上に凸となるが、衝撃力のピーク付近の等色線縞は逆に下に凸の形状となる。これらは、両側面での応力波の反射や横慣性の効果である。しかし、模型の中心線上の波面の伝播速度はほぼエポキシ棒の伝播速度である。

写真2, 3においては、強化材を伝播する縦波が、エポキシ内部にP波とSV波のhead waveとして透過するため、強化材から中心線に向かう直線的な波面が現れている。この場合の透過角はSnellの法則に従う。しかし、一般にP波よりSV波のhead wave方が振幅が大きいため、本実験においても写真から読みとれるのは平面SV波のみであり、平面P波の波面は読みとることができない。図-4に、解析によるモデル2の等主応力差線図を示す。

写真2で得た結果に定量的な考察を加えるため、図-5にモデル2の中心線上における三断面での軸応力の履歴を示す。写真2で断面1に波面が到達する時刻20 μ sと応力波のピークが到達する時刻50 μ sはいずれも図-4とほぼ一致している。

表-1に、モデル1~3の、断面1~3の中央における最大軸応力について、各モデル上端中央の軸応力に対する比を示す。上端中央での軸応力は、モデル1で17MPa、モデル2で5.1MPa、モデル3で3.66MPaである。図-4および表-1より、中心線上の軸応力は、衝撃端から離れるにしたがって低下するが、模型の下端で応力波が反射した後はかなり大きな引張軸応力が作用している。

図-6に、モデル2の断面1におけるせん断応力 τ_{xy} の分布を示す。衝撃直後では縦波の速度差と弾性係数差によって境界面に大きなせん断応力が発生する。しかし、縦波が模型を一往復する時刻では、境界面が最大せん断応力とならず、エポキシ樹脂の幅方向の変形により強化材(真鍮)がせん断力を受けた梁のような挙動をしている。

4. 結論

- (1) 均質柱の場合でも縦波の波面は曲面となって伝播する。
- (2) 複合柱に軸衝撃力が作用した場合、強化材からSnellの法則にしたがった透過角でP波とSV波が発生し、マトリクス内部へ透過する。マトリクス内部を伝播する応力波は、衝撃端からの直接伝播する応力波強化材からの透過波との重ね合わせである。
- (3) 複合柱では、下端で応力波が反射した後、強化材の効果でマトリクスの各断面に強い引張応力が発生する。
- (4) 複合材料のそれぞれの弾性係数および縦波速度の違いにより、境界面に大きなせん断応力が発生する。

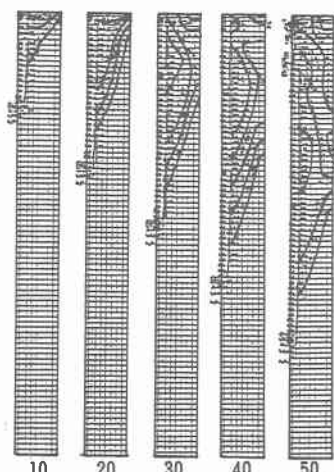


図-4 モデル2の等主応力差線 (μ s)

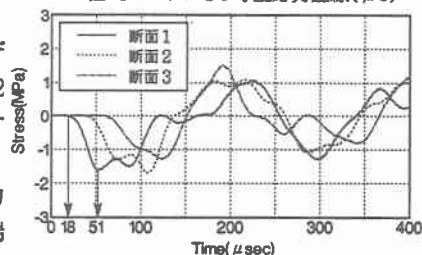


図-5 モデル2の中心軸における三断面での軸応力

表-1 エポキシの三断面中央での最大軸応力(比)

	モデル1	モデル2	モデル3
断面1(圧縮)	1	1	1
断面2(圧縮)	0.93	1.06	0.71
断面3(圧縮)	0.81	0.81	0.68
断面3(引張)	0.25	0.94	0.90
断面2(引張)	0.53	0.69	0.54
断面1(引張)	0.79	0.67	0.54

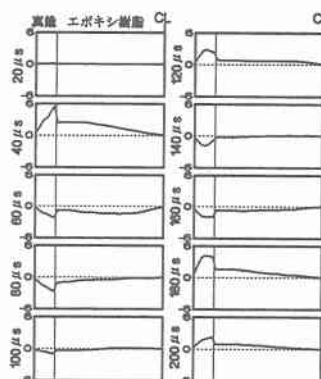


図-6 モデル2の断面1における τ_{xy} 分布 (MPa)