

D

衝撃試験技術

衝撃を受ける構造物の力学的挙動は複雑であり、構造物の破壊にいたるまでの衝撃挙動は、構造物の種類、構造物を構成する材料特性に密接に関連する。

衝撃に関する試験は、それぞれの目的に応じた衝突物、衝突速度、目標物を用いて広範囲に行われている。衝撃試験の目的は大別して、衝撃に耐えるかどうかを判定する合否判定試験と、衝撃による損傷の性質を評価して製品の設計検討に寄与する評価試験、に分類される。

ここでは、衝撃現象の基本事項およびその試験方法との関連性について記述し、具体例として当社で実施した衝突試験を紹介する。

D-1

衝撃現象の分類

1) 土木学会構造工学委員会、衝突問題研究小委員会：構造物の衝撃挙動と設計法、(1993)、土木学会、p.36,p.61

衝撃現象は、衝撃をあたえるもの(衝撃体)と衝撃を受けるもの(被衝撃体)とによって引き起される動的挙動であり、「自然的なもの」と「人為的なもの」に分けられる。自然的に生じる衝撃現象として、暴風雨による土石流、急な崖での落石、波浪および大地震動などがある。いっぽう、人為的なものには、危険物(石油、ガス、火薬類、原子力など)の貯蔵・運搬時の事故、工場・倉庫での重量物の落下、運搬車両の衝突、特定の機械要素の衝撃などがある。

衝撃現象では、外力として衝撃力が対象構造物に作用し、その大きさは質量や速度などによって異なる。外力を受ける構造物や部材の挙動は載荷速度のオーダー(数m/s~数km/s)により異なり、載荷速度に応じた変形速度で変形する。第1表に衝撃体の速度(載荷速度)と被衝撃体のひずみ速度、動的効果との関係および試験種別を示す。表からわかるように、衝撃現象の発生する領域は一般にひずみ速度がおよそ1/s以上である。

被衝撃体の衝撃応答は2つからなり、1つは載荷直後に発生する「応力波の伝播による応答」、他の1つはその後しばらく継続する「弾塑性応答」である。応力波の伝播が問題になるのは、一般にひずみ速度が極めて速い場合(第1表に示すように100/s以上)で、爆発のような特殊な現象の領域である。

後述する耐震連結装置の衝撃引張試験の場合では、地震波による構造物の応答速度は1m/s前後で、この際のひずみ速度は約2/sであるため、弾塑性波の影響が小さい領域の試験である。また、自動車のバンパービームの衝突試験の場合は、ひずみ速度が100/s以下の領域をあつかうものであり、第1表に示す動的効果として機械的共振に若干の弾塑性波の伝播が合った現象と考えられる。

表1表 衝撃問題の特性

載荷・衝突速度 (m/s)	0		10 ⁰		10 ¹		10 ²		10 ³		10 ⁴	
ひずみ速度 (s ⁻¹)	10 ⁻⁸		10 ⁻⁶		10 ⁻⁴		10 ⁻²		10 ⁰		10 ⁶	
試験法	静的試験			準静的試験			高速載荷試験			衝突・衝撃試験		
	クリープ・静的			準静的			中間的ひずみ速度			高ひずみ速度		
	一定荷重・一定応力載荷試験機			油圧・ギア式高速載荷試験機			エアガン方式重錘落下方式ばね・振子式衝撃試験機			爆発による衝撃		ガスガン、爆発により発射される衝撃、レールガン
動的効果	クリープ速度			一定ひずみ速度			機械的共振		弾塑性波の伝播		衝撃波の伝播	
	慣性力無視						慣性力の影響大					

D-2

衝撃試験・評価方法

2) 谷口 修：振動工学ハンドブック、(1985)、養賢堂、p.754

衝撃試験装置

一般に、高速変形のとときの材料の応力-ひずみ関係は、普通の低速の引張試験でえられた関係とはかなり異なった挙動を示し、ひずみ速度が支配的である。以下において、静的試験に比べて、ひ

ずみ速度が大きい10⁻²~10²/sの範囲について負荷装置の形式について分類し、第2表に示す²⁾。

衝撃試験の評価方法の例

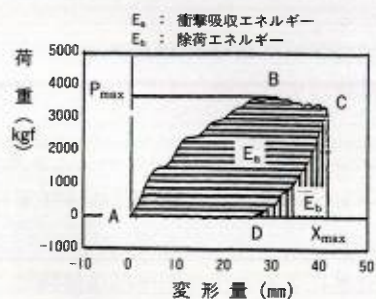
衝撃試験結果については、被衝撃体に発生するひずみ速度の大小により評価方法が異なる。ここ

では、衝突時の応力波の影響が大きい領域、すなわち、第1表に示すひずみ速度が $10^2/s$ 以下の場合を対象にして、エネルギー基準に基づく評価法を述べる。

衝撃時に被衝撃体が受ける衝撃力と変形の様子は第1図のようになる。

図において衝撃では、A→B→Cの各点を通り、C点で最大変形を生じ、その後C→Dを経て、衝撃荷重が除荷されるとともに、D点で永久変形が残る。これをひずみエネルギーの観点からみると、 E_a は衝撃吸収エネルギーであり、 E_b は除荷エネルギーである。

これらのエネルギー量と最大衝撃力および最大変形量の関係を結ぶ係数として、緩衝効率がある。緩衝効率は、 $\eta = (E_a + E_b) / (P_{max} \cdot X_{max})$ により定義され、効率がよいほど1に近づく。すなわち、第1図において最大衝撃力と最大変形量の積である長方形の面積に、上記 E_a と E_b の和が近づくほど、緩衝効率がよいことになる。



第1図 荷重-変形量の関係

被衝撃体は、衝撃体から加わるエネルギーが吸収可能であるならば安全であり、吸収不可能であれば破壊にいたることになる。

第2表 各種衝撃試験装置

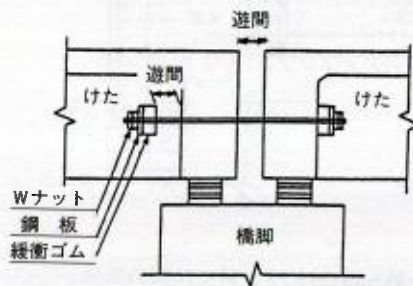
形式	特徴	模式図
振り子式	ハンマーを自然落下または加速落下させて衝撃を加える方式。 破壊試験に用いられるシャルピー衝撃試験装置はこの形式である。	
落下式	供試体や落槌を自然落下または加速落下させて衝撃を加える方式。	
スレッド式	車、人体の衝突による動的挙動を再現する方式。台車、衝突パルス発生機構、台車加速用駆動源および軌道からなる。	
電気式	一定磁界中のコイルに交流電流を供給し、コイルに直結した振動テーブルを駆動する動電型加振機で衝撃を加える方式。	

試験例

D-3

橋梁用耐震連結装置

橋梁の耐震連結装置は、第2図に示すように大地震に対しても、けたが落橋しないように防御するためのものである。大地震時には、橋の固有周期や地盤条件によっては、けたの変位はかなり大きなものとなる。したがって、相対変位を吸収できるだけの遊間があれば、けたと橋台、けたとけたなどの主要構造物間に衝突が生じることになる。既存の耐震連結装置の多くには地震時のけた変位に対する緩衝性と追随性はなく、剛支持として機能している。そのため、遊間の小さい耐震連結装置から順に慣性力が作用し、それが破損した後で他の耐震連結装置が機能するので、耐震連結装置の耐荷力は落橋を防止するには十分でないと考えられている。そこで、ゴムの圧縮の効果により、緩衝性が大きく、変位性能の高い耐震連結装



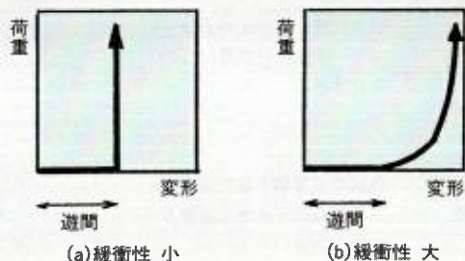
第2図 耐震連結装置の例

置の開発が進められている。その動的特性を第3図に模式的に示す。剛な耐震連結装置では、同図(a)に示すように、装置に荷重が加わると変形せずに、急激に大きな荷重を受ける。いっぽう、緩衝性が大きく変形性能が高い装置では、図(b)に示すように、変位とともに抵抗する荷重が漸増してい

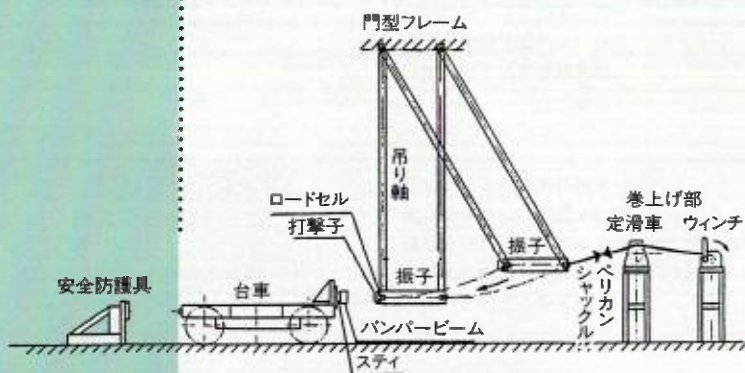
3) National Highway Traffic Safety Administration; "Code of Federal Regulations", Part 581, The Federal Register, (1991)

くため、衝撃力を緩和させ、同一橋脚上の全ての耐震連結装置に力を分担させることができる。

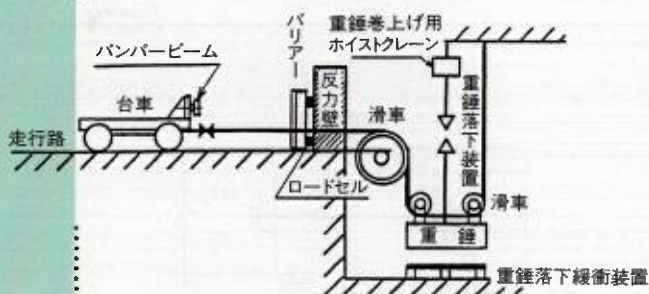
耐震連結装置は、地震時の支承やけたの変位量に追従するとともに、十分な終局強度を有していなければならない。当社では、高速引張試験装置を用いて、耐震連結装置の特性を調べている。



第3図 耐震連結装置の特性



第4図 振り子衝突試験装置の概要



第5図 バリアー衝突試験の原理

自動車用バンパービーム

当社では、合理的なバンパービームの設計を行うため、断面形状、緩衝材を含む素材の材料特性、衝撃載荷位置、衝突速度、自動車の重量などを変

化させ、自動車に適した緩衝効率をもつバンパービームの評価試験の一部を実施している。

バンパービームの強度を評価するための衝突試験が諸外国では法的に義務づけられている。自動車の低速衝突に対する米国の法的な衝突基準³⁾では、後述するように、振り子によるセンター衝突とコーナー衝突およびバリアー衝突により強度評価が行われる。

第4図に当社で使用している振り子衝突試験装置の概要を示す。この装置では、車体と同一重量の振り子を一定の速度で台車に取り付けたバンパービームに衝突させて試験する。

バリアー衝突試験装置では、固定した障壁に一定の速度を有する台車を衝突させる試験を行う。

短い走行路で、衝突最高速度時速50kmを実現させるために、第5図に示す原理に基づきいろいろな工夫を行っている。すなわち、重錘を落下させ、その牽引力により台車を走行させることにより、重錘の位置エネルギーを台車の運動エネルギーに変換させる。

衝突試験では、衝突作用時間が0.05s以下の瞬間的な衝撃現象を正確にとらえることが重要である。

当社では、衝撃荷重およびバンパービームの変位とひずみ、衝突時の加速度、衝突速度などを測定している。

衝突荷重によるエネルギー伝達機構は、衝突体のもつ衝突前の運動エネルギーの大部分がバンパービームに伝達され、このエネルギーは(i)バンパービームを変形させようとするひずみエネルギー、(ii)バンパービームの振動による運動エネルギー、(iii)衝突により跳ね返される台車の運動エネルギー、に変換される。

衝突試験では、バンパービームの表面に実際の自動車とはほぼ同等の緩衝材(緩衝効率を高めるための樹脂性の発泡体)が取り付けられている。これを含むバンパービームの緩衝率は、受ける衝撃力とその変形が剛性(バンパービームの変形のしやすさ)に依存することになるため、剛性はバンパービームの製品設計の際の重要な特性として用いられる⁴⁾。

当初では、落下式衝撃試験装置(落下高さ12m)や動電型振動加振機を利用した衝撃試験も行っている。今後は、実験室での試験に加えて衝撃条件などを容易に変更できるコンピューターシミュレーションの併用も考えたい。紙面の都合上、割愛した部分が多いので、詳細についてはお問合せいただければ幸いである。

(尼崎事業所 振音流動技術室 山村 正明)

4) 石飛秀樹ほか:自動車技術会 学術講演会前刷集, No.961, アルミニウム合金製バンパービームの振り子のコーナー衝突試験に対する設計法, (1996). p.343