

(株) 大林組 正会員 長谷川 宏
 金沢大学工学部 正会員 吉田 博
 金沢大学工学部 正会員 梶川 康男

1. まえがき

弾性限度を越える荷重が繰返して構造物に作用すると、ある大きさの荷重までは、載荷回数とともに、変形が一定値に収束し、その後の載荷に対しては、構造物の材料が降伏しているにもかかわらず、弾性的に挙動する。この現象はシェイクダウン(Shakedown, 変形硬化)として知られている。繰返し静的移動荷重によるはりのシェイクダウンに関する理論および実験については、福本・小堀・吉田によって報告されている¹⁾。一方、ダイナミック・シェイクダウン(Dynamic Shakedown)の研究は、G.Ceradiniの理論的研究を除いては、ほとんど見当たらないようである。本報告は、矩形断面を有する一端固定他端単純支持の鋼製はりにおいて、走行速度を持つ動的な移動荷重が繰返して作用する場合について、弾塑性域での実験を行うとともに、数値解析を行い、ダイナミック・シェイクダウンが生じることを確かめ、移動荷重の走行速度がダイナミック・シェイクダウンに及ぼす影響を検討したものである。

2. 実験概要

移動荷重実験装置は、写真-1に示すとおりである。荷重は、静的試験の場合には、カンチレバーの先端に、また、動的試験では、ロードセルの位置に重錘を取付けて載荷した。試験はりは、材質SS41の鋼材から切削して製作した。試験はりの形状を図-1に示す。

実験は、(1)引張試験および静的曲げ試験、(2)自由振動実験、(3)静的シェイクダウン実験、(4)ダイナミック・シェイクダウン実験について行った。(4)の実験は、移動荷重の走行速度の影響を調べるために、4通りの速度に対して行った。移動荷重は、単純支持端から固定端へ移動させた。

たわみ、ひずみおよび荷重の値は、動ひずみ測定器を介して、パソコンPS-85でサンプリングし、A/D変換して記録した。

3. 実験結果および考察

引張試験、静的曲げ試験および自由振動実験の結果を表-1に示す。表中の崩壊荷重およびシェイクダウン荷重は、降伏応力の実験値を用いて、単純塑性理論で計算した値である。

図-2に、低速($v=126\text{ cm/sec}$)の場合の載荷サイクル数とたわみの関係を示す。たわみは、単純支持端から37.2 cmの点での値である。荷重が P_y を越え、鋼材の降伏が進むにつれて、各荷重段階での載荷サイクル数が増加している。

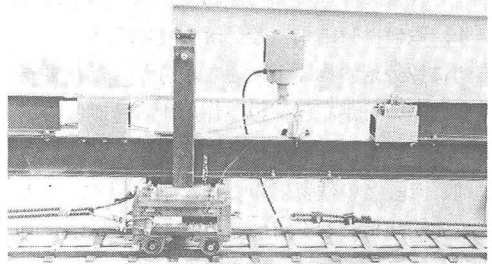
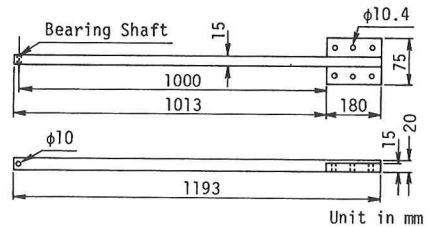


写真-1 移動荷重実験装置



Cross Section	Span Length	100.0 cm
	Width	1.5 cm
	Height	2.0 cm
	Cross Sectional Area	3.0 cm ²
	Moment of Inertia	1.0 cm ⁴
	Shape Factor	1.5

図-1 鋼製試験はりの形状

Yield Stress	σ_y	2440	kgf/cm ²
Ultimate Strength	σ_u	4333	kgf/cm ²
Yield Load	P_y	127	kgf
Shakedown Load	P_s	204	kgf
Collapse Load	P_u	213	kgf
Yield Moment	M_y	2440	kgf-cm
Plastic Moment	M_p	3660	kgf-cm
Young's Modulus	E	2100000	kgf/cm ²
Natural Frequency	ω_1	76.9	Hz

表-1 実験結果

図-3は、一連のシェイクダウン実験から得られた荷重-たわみ曲線をまとめたものである。超低速($v=4$ cm/sec)の場合の荷重-たわみ曲線は、静的な移動荷重の荷重-たわみ曲線によく一致しており、動的な影響を受けていない。低速, 中速($v=18$ cm/sec)および高速($v=229$ cm/sec)の場合には、走行速度が速くなるにつれて、各荷重段階での収束たわみは単純塑性理論の値よりも大きくなっており、特に、 P_y を越える荷重では、この傾向がより強く現れている。これは、鋼材の降伏の進行による剛性の低下と移動荷重の走行速度が収束たわみに影響を及ぼすことを示している。また、走行速度が速くなるとともに、シェイクダウン荷重も低下しており、走行速度による影響が顕著に現れている。

4. 数値解析

数値解析は、R.K.Wenの提案した方法に改良を加えて行った。はり任意長の剛体パネルに分割し、はりが持つ質量とたわみ性を隣接するパネル長の各 $1/2$ ずつ、分割点(格点)に集中することにより、試験はりをモデル化した。はりと移動荷重は常に接触しているものとし、はりと移動荷重の相互作用を考慮した。

数値解析結果は実験結果と比較検討された。

図-4に、載荷サイクル数とたわみの関係を示す。荷重が160 kgf以上では、解析における各荷重段階での載荷サイクル数は実験の載荷サイクル数よりもかなり少ない。固定端の降伏の進行に着目すると、解析では、載荷の1サイクル目でたわみが安定したときの降伏域にはば一致していたのに対して、実験では、載荷サイクル数の増加とともに、降伏が進行した。この相違が、各荷重段階での載荷サイクル数に現れたと考えられる。

図-5は、荷重-たわみ曲線である。解析での収束たわみは、実験値よりも小さな値となった。解析での相互作用力は、実験値より小さな値となり、このため、解析の収束たわみの方が小さくなったものと考えられる。

《参考文献》

- 1) 福本・小堀・吉田; くり返し移動荷重による不静定はりのたわみ安定性に関する理論と実験, 土木学会論文集, 第144号, 昭和42年8月, PP.1~10
- 2) G.Ceradini; Dynamic Shakedown in Elastic-Plastic Bodies, Proc. of ASCE, Vol. 106, No. EM3, pp. 481-499, Jun. 1980
- 3) T.G.Toridis, R.K.Wen; Inelastic Response of Beams to Moving Loads, Proc. of ASCE, Vol. 92, No. EM6, pp. 43-62, Dec. 1966

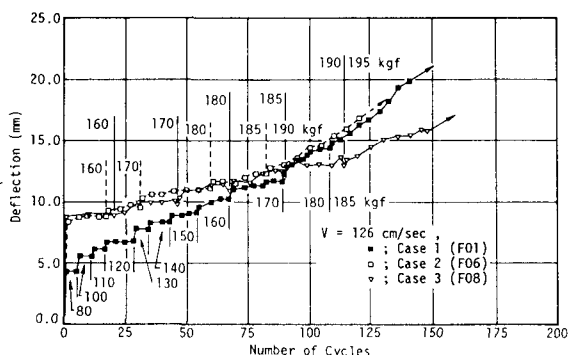


図-2 載荷サイクル数とたわみの関係

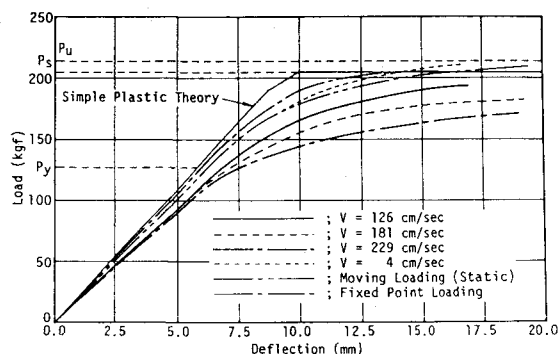


図-3 荷重-たわみ曲線

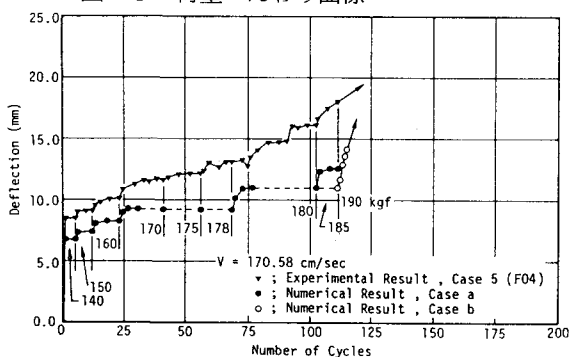


図-4 載荷サイクル数とたわみの関係

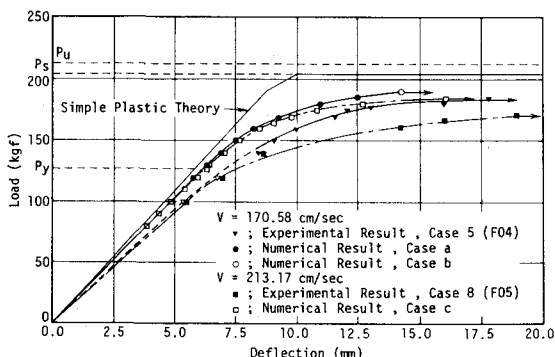


図-5 荷重-たわみ曲線