

鉄道車両の構造と車体弾性振動

秋田県立大学 機械工学科 応用機械設計(動的設計) 富岡研究室

振動は鉄道車両の乗り心地に大きく影響する。鉄道車両の構造と車体弾性振動について概説する。

鉄道車両の構造と上下振動

通常の鉄道車両は車体を2つの台車で支え、台車は2対の輪軸と台車枠からなる。輪軸と台車枠間(1次ばね又は軸ばね系)と、車体と台車枠間(2次ばね又はまくらばね系)の2つのばね系で車体を上下支持している。日本では2次ばねには空気ばねが用いられることが多い。

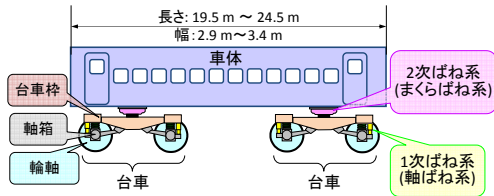


図1 一般的な鉄道車両の構成

車体の上下振動には、車体は変形せず2次ばね上で振動する剛体振動(固有振動数:1~2Hz)と、車体が弾性変形する弾性振動(固有振動数:7Hz~)がある。

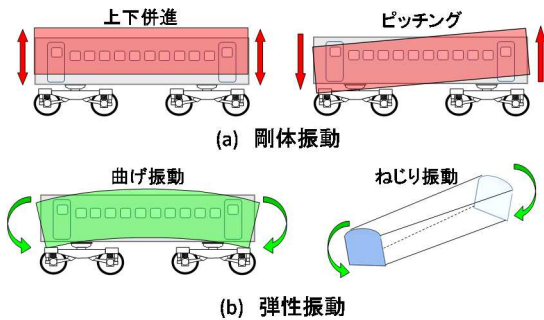


図2 車体の上下振動

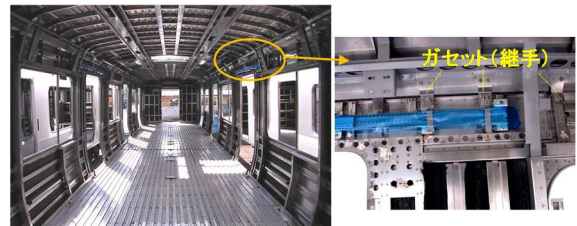
車体の構造

車体の主構造を構体とよぶ。構体は外板が主な強度部材となるセミモノコック構造であり、最近ではアルミニウム合金(以下、Al合金)、あるいはステンレス鋼(以下、SUS)が用いられることが多い。

Al合金とSUSの材料特性の違いから、両者は構体構造が異なる。Al合金製車体では、2枚の平板間にトラス状の補強部材を有する断面をもつ中空押出型材を長手方向に連続的に接合した構体構造(ダブルスキン構造)が多く用いられる。SUS製車体の場合、波形板や補強部材で剛性を確保したパネルを離散的に継手で接合して構体を構成する。



(a) アルミニウム合金(Al合金)製構体の例



(b) ステンレス鋼(SUS)製構体の例

図3 車体の構体構造⁽¹⁾

車体弾性振動の固有モード特性

鉄道車両などの構造物は一般に、剛性(変形しにくさ)と質量のバランスに依存して、特定の形状と振動数で弾性振動が顕著になる性質を持つ。この「特定の形状」を固有モード形、「特定の振動数」を固有振動数といい、それらの組を「固有振動モード特性(あるいは単に固有モード)」という。車体の固有振動モード特性を知ることは、乗り心地向上のため制振対策を検討する第一歩となる。固有振動モード特性を調べるには、図4に示すように工場などで定置した車体を加振器で加振して車体各部の振動加速度を測定し、「モード解析」と呼ばれる手法で数値的な解析処理を行う。

新幹線と通勤形車両の車体弾性振動の固有モードの例を図5、6に示す。構体材料・構造により違いがみられ、Al合金中空押出型材を連続溶接した新幹線車両は、車体全体が一体となって振動し、屋根と床の変形量が同程度のものが多い。構体各面を離散的に接合して組立てられるSUS製の通勤形車両は、屋根と床の振幅や変形形状が大きく異なるなど各面が独立に変形する弾性振動を行う傾向がある。



図4 車体の定置加振試験⁽¹⁾

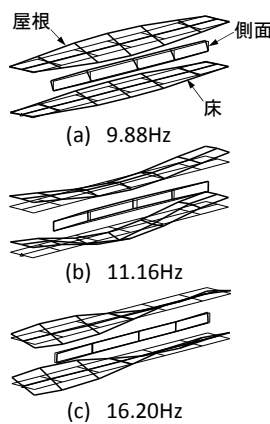


図5 車体の固有振動モードの例⁽²⁾
(Al合金製新幹線車両)

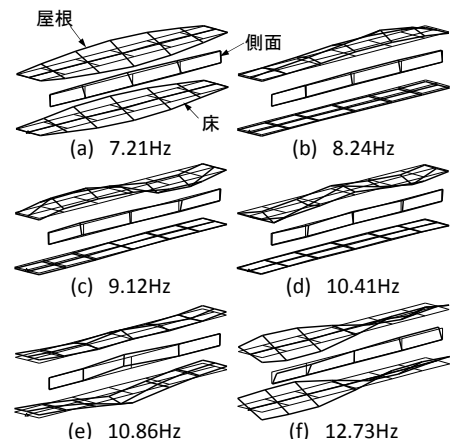


図6 車体の固有振動モードの例⁽²⁾
(SUS製通勤形車両)

参考文献:(1) 日本機械学会編, 鉄道車両のダイナミクスとモデリング(丸善), 2017, p.15, p.132.
(2) 近藤圭一郎編, 鉄道車両技術入門(オーム社), 2013, pp.59-60.