

報告番号 * 甲第1460号

主論文の要旨

題名 鋼箱桁支点上ダイヤフラムの
挙動に関する基礎的研究

氏名 清水 茂

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲第	号	氏名	清水 茂
------	-----	---	----	------

鋼箱桁橋は、特に、ねじりに対するすぐれた特徴から、近年、都市部の高架橋をはじめとする曲線橋に多く用いられるようになってきている。また、直線橋であっても主桁に箱桁を用いたものは多い。

鋼箱桁橋においては、ダイヤフラムは重要な構成部材の一つである。ダイヤフラムは、その力学的な役割から、中間ダイヤフラムと支点上ダイヤフラムに大別される。これらのうち、中間ダイヤフラムは、桁の断面形状を保持し、桁のねじり抵抗を確保することが、その主たる目的と考えられている。一方、支点上ダイヤフラムは、支点反力を吸収し、それを桁に伝達させることが、その最大の目的である。

さて、従来、鋼箱桁橋に関する研究は、その多くが桁の断面変形やねじりなどに注目して行われてきた。これに伴い、中間ダイヤフラムについても種々の研究がなされている。中間ダイヤフラムはその性格から、ダイヤフラムそのものに対する考察よりも、その桁に対する影響が重視される場合が多い。一方、支点上ダイヤフラムについては、それが重要な部材であるにもかかわらず、従来、あまり研究がなされていない。1970年に発生した英国のMilford Haven橋の落橋事故は、支点上ダイヤフラムの強度が不足していたことが原因とされている。この事故を契機に英国で制定された、鋼箱桁橋の暫定設計基準（IDR）は、支点上ダイヤフラムを含め、鋼箱桁橋の設計基準を体系的にまとめた唯一のものである* が、IDRに対しては、その繁雑さ、あるいは経済性などからの疑問も指摘されている。

（* 箱桁の中でも、中間ダイヤフラム単体については、いくつかの設計基準案が提案されている。また、英国では現在、IDRをもとにした、より実用的な設計基準が制定されつつある。）

本研究は、連続鋼箱桁の、主として中間支点付近に注目し、支点上ダイヤフラム

主 論 文 の 要 旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 清 水 茂

およびその近傍の挙動を実験的、数値的に調べ、鋼箱桁橋の支点付近の設計のための基礎資料を得ようとするものである。

一般に、構造物を有限要素法系の手法により解こうとすると、解くべき連立方程式が大きくなり、実用上解析が困難となる場合が多い。Cheung, Y. K. の提案した有限帯板法 (FSM) は、箱桁のような構造物を解く場合、上記の制約をある程度解消したものであり、本研究では数値計算にはFSMを用いている。ところがFSMでは、通常、ダイヤフラムや中間支点を考慮することができない。これを解決するための手法として、本研究においては桁とダイヤフラムの間の不静定力を求める方法を用いた。中間ダイヤフラムを有する箱桁の場合、不静定力 $\{X_1\}$ は

$$\{X_1\} = ([I] + [K][F])^{-1} [K] \{\delta_0\}$$

なる式より求められる。ここに、 $\{\delta_0\}$ は、与系から中間ダイヤフラムを取り去った系の変位、 $[K]$ はダイヤフラムの剛性行列、 $[F]$ は桁のたわみ性行列である。中間支点上ダイヤフラムの場合、上式において、各行列、ベクトルを、直接支持されている節線に関する部分とそうでない部分に分けることにより、 $\{X_1\}$ が求まる。

さて、中間支点上ダイヤフラムについて考察しようとする場合、支点反力を知る必要がある。支承が橋軸に対して左右対称に配置されているような2点支持の場合、桁が直線であれば、荷重が対称である限り左右の支承における反力は等しくなる。しかし、曲線桁では、一般的に、左右の反力は異なるものとなる。そこで、桁の曲率、中間ダイヤフラムの有無とその数・剛度などをパラメータとし、左右支承への反力分配について調べてみた。反力分配は、曲率の内側、外側支承における反力を

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲第	号	氏名	清水 茂
------	-----	---	----	------

それぞれ X_{in} , X_{out} とし, $\mu = X_{out} / (X_{in} + X_{out})$ なる無次元量 (以下、支点反力分配係数, あるいは単に分配係数という) により考察するものとする。また, 荷重は上フランジに等分布荷重を満載とした。解析の結果, ①一般的に, 分配係数は 0.5 を下回るが, 中間ダイヤフラムにより左右支承の反力が均等化されること, ②中間ダイヤフラムの剛度はある程度以上であれば十分であり, IDR の条項 6.2.4 のダイヤフラムの無次元剛度 $S = 300$ 以上では, 中間ダイヤフラムの剛度をましても, 左右支承の反力は, それ以上は均等化されないこと, などがわかった。

本研究では, 支点上ダイヤフラムについて, (1)弾性挙動, (2)耐荷力, の二つの点から, 実験的, 数値的に調べている。これらのうち, 弾性挙動に関しては, 実験および F S M による数値計算により, 主として中間支点上ダイヤフラムの応力状態について考察した。以下, 弾性範囲内での実験を G シリーズという。G シリーズにおける模型は, いずれも長方形断面を有し, 中間ダイヤフラムの剛度が小さいものについて, 直線桁と曲線桁の 2 体 (それぞれ G2, G4 とする), 中間ダイヤフラムの剛度の大きい曲線桁 1 体 (G3 とする) の計 3 体である。すなわち中間ダイヤフラムの剛度, 曲線・直線の相違をパラメータとしたわけである。また数値計算は, G2, G3, G4 をもとにして, 中間ダイヤフラムの剛度を種々変化させたモデルのほか, 桁の断面形状が異なるものについても扱った。中間支点の断面における支承の位置は, 実験用模型では腹板直下, 数値計算用モデルでは, 腹板直下のほか, 支承が内側により, 下フランジ・支点上ダイヤフラムを直接支える形式も考えた。また, 数値計算用モデルの一部を除き, 支承上には耐荷補剛材を配置してある。なお, 実験用模型は, 連続桁において中間支点付近で曲げモーメントの符号が反転す

主 論 文 の 要 旨

報 告 番 号	※ 甲 第	号	氏 名	清 水 茂
---------	-------	---	-----	-------

る部分のみを取り出し、支点反力に相当する集中荷重を受ける単純桁のように扱っている。この模型に対する数値計算用モデルでは、同一の桁について、実験用模型のように中間支点付近のみを取り出したものと、桁の全長を考えたものの両者を扱い、この簡略化の妥当性を照査した。これらの実験、数値計算からは、(1)支点上ダイヤフラムは支承付近で応力集中が生じており、主圧縮応力はそこから放射状に拡がっている。また、支承上に補剛材のないモデルでは、大きな応力が発生している領域は、支承からダイヤフラム中央部に向けてアーチ状に拡がっているが、補剛材があると、大きな応力は、補剛材に沿った細長い領域に分布していること、(2)本研究で扱った範囲では、中間支点上ダイヤフラムに作用する不静定力は、桁が長方形断面を有する場合は腹板からのせん断力が卓越するが、逆台形断面の場合はダイヤフラム上辺に大きな圧縮力が作用している。従って、ダイヤフラムのみを取り出した取り扱いをする場合は注意を要すること、(3)補剛材の応力は、支承近くよりも、むしろ支承から多少離れた点の方が大きいこと、(4)中間ダイヤフラムの有無やその剛度は、中間支点上ダイヤフラムの挙動にはほとんど影響を与えないこと、(5)フランジの応力については、わずかながら、負のせん断遅れが発生する傾向が認められること、などがわかった。

支点上ダイヤフラムの耐荷力については、中間支点のほか、端支点にも注目して調べられた。これらのうち、中間支点上ダイヤフラムの耐荷力に関する研究では、GシリーズにおけるモデルG2 とほぼ同じ形状・寸法を有する模型による実験と、この模型に対するFSMによる数値計算を行ったほか、IDRをこの模型に適用した場合の応力照査も行った。一方、端支点上ダイヤフラムに関する研究では、FS

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※甲第	号	氏名	清水 茂
------	-----	---	----	------

Mが端支点上ダイヤフラムを扱うことができないため、模型実験と、その模型に対するIDRによる応力照査のみ行っている。支点上ダイヤフラムの耐荷力実験は、中間支点、端支点とも、支点上ダイヤフラムの強度の大きい模型と小さい模型の各2体、計4体について行われ、支点上ダイヤフラムの強度が桁の崩壊形式に与える影響を中心に調べた。以下、中間支点上ダイヤフラムに関する実験をAシリーズ、端支点上ダイヤフラムに関する実験をBシリーズという。また、Aシリーズ、Bシリーズそれぞれにおいて、注目している支点上ダイヤフラムの強度の小さい模型をA1、B1、強度の大きな模型をA2、B2という。

Aシリーズの実験では、桁の耐荷力は、A1では支点上ダイヤフラムの局部変形により決り、A2では支点上ダイヤフラムは健全なまま桁が全塑性モーメントに達して崩壊した。一方、Bシリーズの実験では、B1で端支点上ダイヤフラムにごく小さな局部変形が生じたほかは、支点上ダイヤフラムは健全なままであり、B1、B2とも、腹板のせん断により耐荷力が決った。Aシリーズでは、実験により得られたダイヤフラムの応力は、FSM、IDRにより計算された応力とよく一致しており、Bシリーズにおいても、実験値とIDRによる計算値はほぼ一致した。しかし、実験によると、ダイヤフラムパネルの強度は、IDRによる強度をかなり上回っている。支点上ダイヤフラムが実験終了まで健全であったA2についてみると、IDRでは、ダイヤフラムの板厚をこの模型と比べて84%増加させなければ、支点上ダイヤフラムは健全ではあり得ない、という結果が得られている。

一方、Bシリーズでは、桁の耐荷力は腹板のせん断により決ったが、B2がB1に比べ、約10%大きな耐荷力を示した。プレートガーダーにおける腹板の耐荷力の算定式は、多くの文献に示されているが、それらは、いずれも支点上ダイヤフラム

主論文の要旨

報告番号	※甲第	号	氏名	清水 茂
------	-----	---	----	------

の影響は考慮していない。しかし、本研究からは、支点上ダイヤフラムの強度を増すことは、それ自身の耐荷力を向上させるだけでなく、腹板に対しても、効果的に働くことがわかる。

以上の実験や数値計算などから得られた、支点上ダイヤフラム設計上の注意事項をまとめると、以下のようになる。

(1)支点上ダイヤフラムの発生応力の推定には、IDRを用いてよいが、IDRではダイヤフラムパネルの強度を過小評価している。

(2)ダイヤフラムパネルの強度を算定する際には、パネルの応力は、ダイヤフラムの面内曲げや、注目するパネル・補剛材の位置関係をも考慮して決定することが望ましい。

(3)曲線桁においても、それぞれの支承について反力が求めれば、以後、直線桁と同様に設計できる。

支点上ダイヤフラムは、その挙動と他の部材との関係などが複雑なため、多くの条件を考慮したパラメトリックな解析は困難である。支点上ダイヤフラムに関する研究はまだ少なく、今後の課題としなければならない事項も多い。しかし、本論文には、連続曲線桁における中間支点上ダイヤフラム設計のための支点反力推定法や、ダイヤフラムパネルの、より望ましい応力分布の仮定などが示されているほか、本研究から、支点上ダイヤフラムの桁（特に腹板）への影響などが、ある程度明らかにされた。