

Analogy Survey-Compensating Method Based Bearing Capacity Test Research for Missing Data Bridge

Keke Peng

School of Transportaton and Civil Engineering & Architecture, Foshan University, Foshan Guangdong
Email: pengkeke8481@126.com

Received: May 7th, 2017; accepted: May 22nd, 2017; published: May 26th, 2017

Abstract

Analogy survey-compensating method is proposed to recover the design information and estimate the bearing capability of data missing bridge. The analogy survey method is used to recover the designed reinforcement data, based on the design codes used in construction period and the current design codes; bearing capacity compensating method is put forward to predict the bearing capacity which needs to be full filled according to the current design codes. A flyover needs to be removed for road reconstruction; the above analogy survey-compensating method is adopted to recover the designed reinforcement information, and estimate the bearing capacity compensating as well. A destructive test was conducted after the demolition of the bridge, which proved that the reinforcement data is accurate. At the same time, the comparative analysis is carried out between test value and theoretical value of bearing capacity research, when the test beam is failure, the results are consistent. The accuracy of analogy survey-compensating method is proved by the above destructive test, which can estimate the bearing capacity of missing data bridge, and provide theoretical basis for maintenance and reinforcement.

Keywords

Missing Data Bridge, Analogy Survey-Compensating Method, Destructive Test, Bearing Capacity Research

基于类比补差法的不明桥承载能力试验研究

彭可可

佛山科学技术学院, 交通与土木建筑学院, 广东 佛山
Email: pengkeke8481@126.com

收稿日期: 2017年5月7日; 录用日期: 2017年5月22日; 发布日期: 2017年5月26日

摘要

研究恢复不明桥资料及评估其承载能力的类比-补差法。提出用类比调查法恢复不明桥的配筋数据,基于不明桥建设期使用的规范和现行规范,提出承载能力补差法,预测不明桥需提高的承载能力。因改造某立交需拆除,采用上述类比-补差法恢复了该桥的截面构造尺寸和配筋数据,并对该桥的承载能力进行了评估。该桥拆除后,对拆除梁进行了破坏性试验,验证了恢复的截面配筋数据是准确的。将破坏时的实际承载能力与理论计算承载能力进行对比分析,结果较为吻合。上述试验验证了不明桥类比-补差法的准确性。该法可评估不明桥的承载能力,为不明桥的维修加固提供理论依据。

关键词

不明桥, 类比补差法, 破坏性试验, 承载能力研究

Copyright © 2017 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

不明桥由于设计资料缺失,大都建造年代久远,承载能力、设计荷载等级、依据的设计规范与目前规范要求不符,因此,研究如何恢复不明桥的资料并对其承载能力进行评估是必要的。目前国内外对于资料缺失的不明桥研究得较少,国外有学者研究了使用超过一百年的铁路钢桥、铁桥的承载能力[1]、砖块缺失的砌体拱桥的承载能力[2]以及战争损坏桥梁的残余承载力[3],但未明确提出资料缺失的不明桥这一概念,研究方法多为有限元模拟和概率统计法;国内有少数学者研究了资料缺失桥梁(不明桥),均是采用动静载试验或无损检测的方法评估其承载能力[4] [5] [6] [7]。基于破坏性试验的不明桥资料恢复及承载能力评估方法研究,鲜见相关文献报导。本文提出了评定不明桥承载能力的类比补差法,用类比调查法恢复不明桥的数据,用承载能力补差法预测不明桥需要提高的承载能力。取一废弃梁体,用上述方法恢复其数据并预测其承载能力,然后开展破坏性试验,对梁体进行解剖,验证上述方法的准确性。

2. 不明桥类比补差法

先调查不明桥的建造年代,在恢复不明桥配筋的基础上,依据当时的设计规范,可获得不明桥设计承载能力 R_0 ,再根据《公路桥梁承载能力检测评定规程(JTG/TJ21-2011)》[8](以下简称《承载能力评定规程》),对设计承载能力进行折减,得到该桥目前实际承载能力 R_1 ,然后根据现行设计规范,获得本桥应该达到的承载能力 R_2 。 $R_2 - R_1$ 即为加固需补足的承载能力,可根据上述分析为加固决策提供依据。以下以《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ023-85)》[9](以下简称《85桥规》)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTGD62-2004)》[10](以下简称《04桥规》)为例,说明承载能力补差法的计算过程。

①恢复不明桥配筋资料后,根据《85桥规》,采用容许应力法计算 R_0 。

②根据《承载能力评定规程》,计算 R_1 。

配筋混凝土桥梁承载能力极限状态,应根据桥梁检测结果按下式进行计算评定。

$$r_0 S = R(f_d, \xi_c a_{dc}, \xi_s a_{ds}) Z_1 (1 - \xi_e) \quad (1)$$

式中, r_0 ——结构的重要性系数; S ——荷载效应函数; $R(\bullet)$ ——抗力效应函数; f_d ——材料强度设计值; a_{dc} ——构件混凝土几何参数值; a_{ds} ——构件钢筋几何参数值; Z_1 ——承载能力检算系数; ξ_c ——配筋砼结构截面的折减系数; ξ_s ——钢筋的截面折减系数; ξ_e ——承载能力恶化系数。

抗力效应值应按不明桥建筑年代施行的设计规范进行计算, Z_1 , ξ_c , ξ_s 按《承载能力评定规程》取值。

③根据《15 桥涵设计通用规范》[11]计算 R_2 。

由于本课题研究的是承载能力, 故采用按承载能力极限状态的基本效应组合计算结构应达到的抗力 R_2 。

④需补充的承载能力为:

$$R_a = R_2 - R_1 \quad (2)$$

根据公式(2), 对结构承载能力不足的部分进行加固。

3. 不明桥算例

3.1. 工程概况

某立交由主线桥和 6 座匝道桥构成。上部结构主要形式为预应力混凝土简支空心板, 下部结构采用双柱式桥墩钻孔灌注桩基础, 肋板式桥台。经调查, 本桥修建于 1992 年, 现因改造需拆除, 目前已找不到原始设计资料。为了验证本文提出的不明桥承载能力评估方法, 从中选取 2 片 16 m 跨空心板梁(1#和 5#梁, 见图 1), 进行破坏性验证试验。首先通过本梁修建年代及桥梁使用性质, 结合现场量测恢复的外观尺寸, 找到同年代具有设计资料的类似结构物, 通过类比法, 初步恢复了不明梁的预应力配筋, 并以此作为理论梁, 建立有限元模型, 用承载能力补差法进行承载能力评估。然后进行加载破坏试验(破坏情况见图 7), 并将试验结果与恢复资料的理论计算进行对比分析。

3.2. 初步恢复不明桥结构尺寸及配筋

通过现场量测, 得到不明梁的结构尺寸见图 2, 图 3:

结合 90 年代 16 米空心板梁的结构设计, 将实测截面标准化, 初步确定原始设计截面应如图 4。

根据桥梁建造年代, 佛开高速修建于 1993 年~1996 年, 修建年代基本相似, 且同为高速公路, 查找佛开高速 16 米跨空心板梁资料后发现, 其截面形状与本试验梁恢复后的截面尺寸基本相同, 考虑到当时



Figure 1. The location of the beam for destructive test
图 1. 破坏性试验梁位置

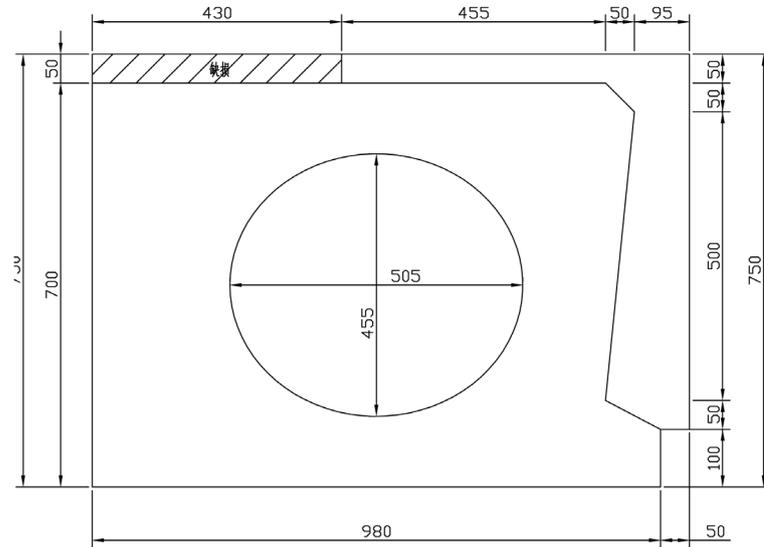


Figure 2. The size for mid-span section of beam 1
图 2. 实测梁 1 号边梁跨中截面尺寸(单位: mm)

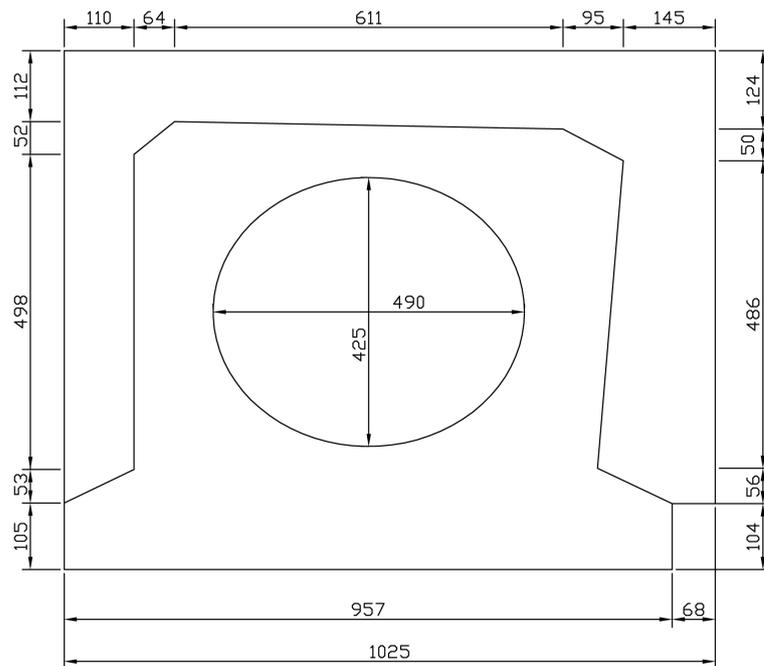


Figure 3. The size for mid-span section of beam 5
图 3. 实测梁 5 号中梁跨中截面尺寸(单位: mm)

设计规范的一致性,初步判定本桥的预应力配筋应与佛开桥梁基本一致,故试验理论计算配筋按图 4 所示配筋数据进行。通过回弹试验推算上部结构砼等级为 C40。1 号边梁桥面整体化层破坏严重,其对结构刚度和强度贡献不大,5 号中梁整体化层较好,对结构刚度和强度有较大提高,铰缝对结构强度刚度贡献不大。为结合理论计算模型,表中面积和抗弯矩惯性矩实际值考虑如下:(1)1 号边梁按照实际尺寸不考虑结构整体化层和铰缝的贡献得到的计算值;(2)5 号中梁为按照实际尺寸考虑结构整体化层但不考虑铰缝贡献得到的计算值。

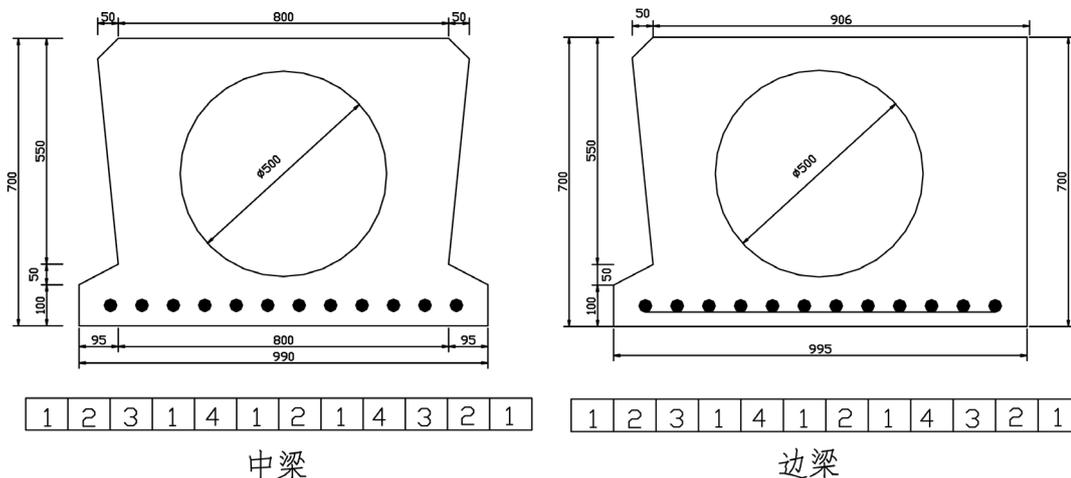


Figure 4. The size and reinforcement information for mid-span section after data recovery
 图 4. 恢复后的不明桥空心板主梁截面尺寸及配筋(单位: mm)

3.3. 恢复资料梁结构验算

3.3.1. 计算资料

采用该桥建造年代的设计规范《公路桥涵设计通用规范》JTJ021-89 [12]、《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTJ023-85 [9], 取标准跨径 $L = 16 \text{ m}$, 计算跨径 $L_0 = 15.70 \text{ m}$; 温度: 英国 BS5400。本空心板横向系绞缝构造, 故横向分布系数按铰接板法计算, 采用 MIDAS CIVIL2014 建立有限元单梁模型, 计算结果如下。

3.3.2. 承载能力计算结果

根据初步恢复的资料, 采用 89 规范[12]和 15 规范[11]对该桥承载能力进行了验算, 图 5, 图 6 为采用 15 规范[11]计算的承载能力极限状态弯矩包络图。

图 5, 图 6 计算出的抗力即为未考虑材料老化的结构设计承载能力 R_0 , 图中的效应为根据《15 规范》[11]规定的荷载组合计算的内力效应, 即该桥对应当前规范应达到的承载力 R_2 , 再根据《承载能力评定规程》^[8]考虑抗力折减, 计算 R_1 , 计算结果见下表:

由表 1 的计算结果可知, 如不考虑整体化层, $R_{2\text{边}} > R_{2\text{中}}$, 表明边梁需达到的设计承载能力应大于中梁, 这是符合桥梁结构的横向分布系数规律的。 $R_{0\text{中}} > R_{0\text{边}}$, 是因为该桥 1 号边板的整体化层破坏严重, 理论计算时不予考虑, 而 5 号中梁的整体化层较完整, 为了与实桥试验结果对比, 计算时考虑了 5 号中梁的整体化层。综上所述, 计算结果表明, 5 号中梁的承载能力应大于 1 号边梁, 按承载能力补差法, 边梁需加固, 使其承载能力提高 10%。下面用破坏性试验验证上述结果。

4. 破坏性试验

4.1. 试验过程

主梁破坏性试验包括: 正常使用阶段、开裂试验、重裂试验和破坏试验 4 大阶段。本文仅讨论破坏承载能力的试验结果。

基于目前结构试验室既有的加载反力装置条件, 同时考虑试验加载精度的要求, 试验采用千斤顶、压力传感器和反力架组成的反力系统进行加载。在加载点的布置上, 主要考虑其满足以下两点要求进行: ①结构在试验荷载下的弯矩包络曲线与汽车活载的包络曲线相似, 以跨中截面的弯矩值控制试验加载。

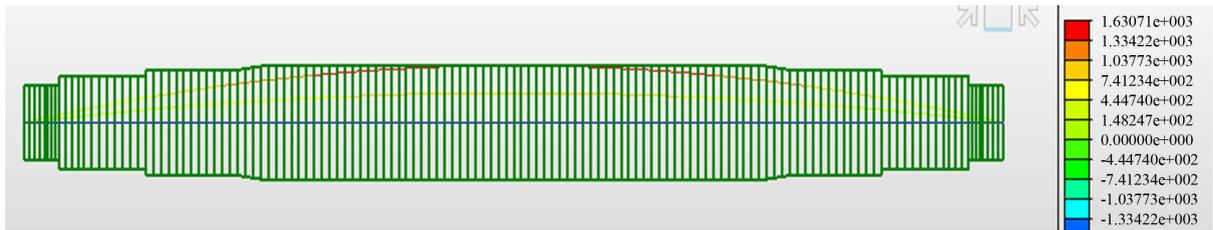


Figure 5. Moment envelope diagram for side plate 1 (without united layer)

图 5. 1 号边梁承载能力最大弯矩包络图(不考虑整体化层)

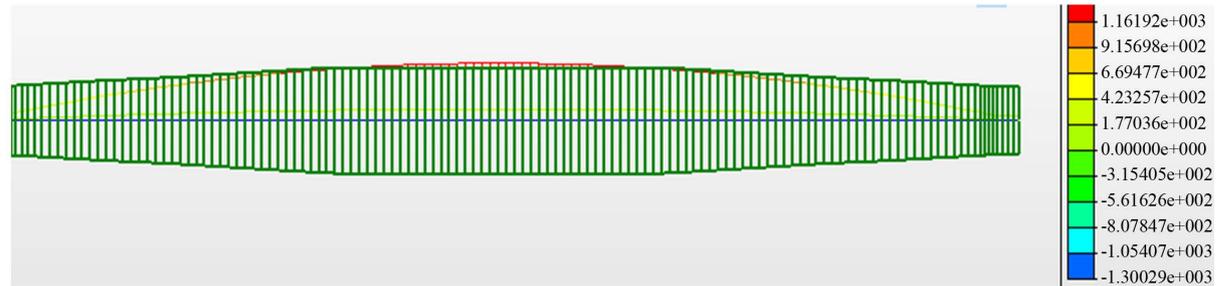


Figure 6. Moment envelope diagram for side plate 5 (with united layer)

图 6. 5 号边梁承载能力最大弯矩包络图(考虑整体化层)

Table 1. Bearing capacity compensating calculation table

表 1. 承载能力补差法计算结果一览表

梁号	R_0 (kN·m) 设计弯矩	R_1 (kN·m) 折减弯矩	R_2 (kN·m) 实际弯矩	R_2/R_1
边梁 1 号梁	1630	1467	1610	1.09
中梁 5 号梁	1892	1685	1478	0.88
中梁 5 号梁(不考虑整体化层)	1408	1254	1478	1.18

②考虑所施加的荷载更接近于桥梁结构所承受的拖挂车的车轴间距和类型，采用 5 点相等荷载同步施加进行试验，试验实际加载装置见图 7 所示。

4.2. 试验结论

试验梁破坏情况见图 7。将各试验梁加载试验得到的极限荷载试验值和计算值列表汇总于表 2：

由上述试验结果可知，理论破坏弯矩和实际破坏弯矩是较为接近的，实际破坏值略大于理论值。造成这种差距的主要原因有两个方面：一方面，混凝土实际抗压强度一般比设计计算取值大，另一方面，试验梁实际上包含了铰缝，这部分在极限破坏阶段也是参与结构受力的，而理论计算时未将其考虑进来。1 号边梁的实际破坏弯矩 R_1 与根据现行规范荷载标准要求达到的承载能力 R_2 基本一致，但这时结构已经开裂，说明 1 号边梁不满足现行规范要求。由于 5 号中梁整体化层完好，试验时是连同整体化层加载的，故其实际破坏弯矩大于 1 号边梁。

5. 结论与建议

本文研究了恢复不明桥资料及评估其承载能力的方法，提出了适用于不明桥承载能力评定的类比-补差法。采用类比调查法对一座拆除的空心板简支梁桥进行了资料恢复，并用承载能力补差法对该桥的承载能力及需补足的承载能力进行了评估。该桥拆除后，课题组对拆除梁进行了破坏性试验，证明了本研



Figure 7. The deformation for side plate 1 when failed
图 7. 边梁 1 号梁破坏时试验梁变形情况

Table 2. Bearing capacity analysis table

表 2. 极限荷载分析一览表

梁号	实际极限荷载(kN)	实际破坏弯矩(R'_i) kN·m	理论破坏弯矩(R_i) kN·m	实际/理论
边梁 1 号梁	130	1664	1467	1.13
中梁 5 号梁	163	2086	1685	1.23

究采用的类比调查法能准确恢复不明桥的截面配筋数据；同时将破坏荷载与理论计算承载力进行了对比分析，结果较为吻合。试验验证了不明桥类比-补差法的准确性。上述研究表明本文提出的类比-补差法可在合理恢复不明桥数据的基础上，评估不明桥的承载能力，为不明桥的维修加固提供理论依据。

基金项目

国家自然科学基金项目(项目编号：51608119)。

参考文献 (References)

- [1] Patrón, A., *et al.* (2006) Improved Assessment Methods for Static and Fatigue Resistance of Metallic Railway Bridges in Europe. *Proceedings of the 3rd International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*, Porto, Portugal, 16-19 July 2006, 751-753.
- [2] Gong, N.G., Choo, B.S. and Coutie, M.G. (1993) Crack and Contact Problems in Masonry Arch Bridges. *Proceedings of the 5th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, 7-9 June 1993, 801-808.
- [3] Stow, A.J. and Webber, D. (1998) Residual Life of Battle Damaged Bridges. *Proceedings of the 1998 5th International Conference on Structures under Shock and Impact*, Thessaloniki, Greece, 1 June 1998, 693-702.
- [4] 陈喜龙, 徐郁峰. 某缺失资料简支梁桥的安全评估[J]. 广东公路交通, 2013(5): 22-26.
- [5] 吕长荣, 宋郁民, 刘媛. 缺失资料刚架拱桥的荷载试验及性能评定[J]. 水利与建筑工程学报, 2008, 6(3): 68-70.
- [6] 罗声, 康小兵. 石拱桥承载能力分析 & 试验检测评定[J]. 公路工程, 2015, 40(3): 210-212.
- [7] 刘喆, 夏叶飞. 缺失资料既有桥梁无损检测及承载力评定[J]. 河南建材, 2012(2): 48-49.
- [8] 交通运输部公路科学研究院. 公路桥梁承载能力检测评定规程(JTG/T J21-2011)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [9] 交通部公路规划设计院. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 JTJ023-85[M]. 北京: 人民交通出版社, 1985.

-
- [10] 中交公路规范设计院. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 JTG D60-2004[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [11] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥涵设计通用规范 JTG D60-2015[M]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [12] 交通部公路规划设计院. 公路桥涵设计通用规范 JTJ021-89[M]. 北京: 人民交通出版社, 1989.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org