

基于 IFC4x1 的桥梁信息模型转换研究

吕凯垣 徐 俊

(同济大学桥梁工程系, 上海 200092)

【摘 要】 IFC 标准是定义和描述建筑产品信息模型的国际通用标准, 发展至今, IFC 在建筑工程领域已经得到了广泛的应用, 但由于标准还在逐步完善, 其在道路、桥梁、隧道等线状工程中的应用仍相对较少, 使得相关领域的数据共享受阻。本文介绍了基于 IFC4x1 schema 描述桥梁上部结构构件空间位置和几何形状的原则, 提出了对 IFC 模型的相关信息进行提取、处理并最终映射到桥梁计算模型的方法, 并基于开源库 XbimEssentials 开发了 IFC 模型向桥梁计算软件 MIDAS Civil 模型进行转换的程序原型。

【关键词】 桥梁信息模型; IFC; 数据映射

【中图分类号】 TU17 **【文献标识码】** A

【版权声明】 本文被《土木工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网, 未经授权严禁登载。

1 引言

行业基准分类 (Industry Foundation Classes, IFC) 由 BuildingSMART (原国际协作联盟, IAI) 发布并维护, 它是为建筑业量身定做的产品模型标准数据模型^[1]。从 1994 年发展至今, IFC 标准在建筑工程等领域已经得到了广泛的应用, 但还未在道路、桥梁、隧道等线状工程中得到普及, 这是因为在 IFC4 以及更早版本的框架中缺少表达土木基础设施语义的实体^[2]。为了进一步支持基础设施工程领域的信息共享, buildingSMART 成立了专门委员会 Infrastructure Room, 并发起了 IFC Alignment、IFC Bridge 等多个子项目^[3], Alignment (线形) 作为基础设施项目所需的公共资源^[4] (图 1), 被列为首个需要集成到 IFC 标准中的项目。IFC Alignment 1.0 在 2015 年 7 月被接受为 buildingSMART 的认证标准, 随后又耗时两年与 IFC4 schema 集成, 经过多次修订以及公开评审, IFC4x1 Final 于 2017 年 6 月正式发布^[5], 标准中引入了与 Alignment 相关的概念、实体和属性, 使得 IFC 数据模型能够完备地描述道路的平、竖曲线, 同时增强了基于道路平、竖曲线定位空间构件的能力。

建筑物的全生命周期中会经历规划、设计、施工、运维等多个阶段, 基于 IFC 的 BIM 模型作为工程信息的载体将在这一过程中不断丰富, 并支持各个阶段和领域间的信息共享。在桥梁的设计过程中往往需要反复调整设计参数并验算结构安全, 工程人员无法避免地需要根据变更过后的图纸或模型在计算软件中重新建模, 因此本文提出了把 IFC 中性文件作为模型信息交换的载体来简化前处理从而减少重复工作的方法。

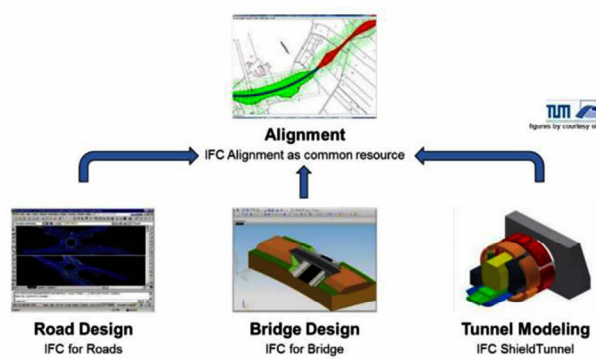


图 1 Alignment 在 IFC Infrastructure 项目中的中心地位^[4]

一些学者已经对 IFC 模型与有限元模型的交换进行了相关研究: 秦领等研究了基于 IFC 的建筑模型与结构有限元模型的数据共享与交换, 并提出了

【作者简介】 吕凯垣 (1994 -), 男, 在读硕士, 主要研究方向: 建筑信息建模、基于 IFC 的数据交换; 徐俊 (1978 -), 男, 博士, 同济大学土木工程学院讲师, 主要研究方向: 土木工程信息化。

通用结构有限元模型平台以支持多种有限元软件格式^[6], 张晓洋等提出了 IFC - API 建筑结构转换模式, 从而解决建筑设计向结构设计的信息断层问题^[7]; 但二者讨论的范围限于建筑结构, 因此笔者选取了桥梁设计中常用的计算软件 Midas Civil 作为桥梁 IFC 模型转换的目标平台, 详细分析了基于线形的 IFC 实体与有限元模型的映射关系, 并基于开源工具箱 xBIM 开发了 IFC 模型转换程序。

2 IFC Alignment 体系

不同于房屋建筑这类“点状工程”, 道路、桥梁等“线状工程”拥有路线起点、桩号、平竖曲线等工程要素, 表达这些语义的实体在 IFC Alignment 体系中定义并最终纳入到 IFC4x1 的框架中, 本节对其中一部分内容进行了介绍。

新增的 IfcAlignmentCurve 等几何资源实体封装了平、竖曲线的信息描述方式, 如图 2 所示, 各实体之间的关系通过 UML 类图表示。其中, 空心菱形箭头表示聚合关系 (Aggregation), 实心菱形箭头表示组合关系 (Composition), 三角形空心箭头表示泛化 (Generalization), 敞开箭头表示关联 (Association)^[8]。下面以竖曲线为例说明 UML 类图所表示的实体关系与属性的含义:

IfcAlignmentCurve 的属性 Vertical 引用了实体 IfcAlignment2DVertical (竖曲线), 其属性 Segments 是元素类型为 IfcAlignment2DVerticalSegment (竖曲线段) 的非空数组, 表示竖曲线由 1 或多段竖曲线段组成。

竖曲线段的属性 StartDistanceAlong 表示该段竖曲线起点距离路线起点的距离 (以平曲线长度计); 属性 HorizontalLength 表示该段竖曲线所对应的平曲线段长; 属性 StartHeight 和 StartGradient 分别表示该段竖曲线起点的标高 (在所属 IfcAlignment 的局部坐标系下) 和斜率 (坡度)。

IfcAlignment2DVerticalSegment 又可进一步特化为三种具体的竖曲线段类型: 直线段、圆弧段和抛物线段, 三者拥有从共同父类继承的上述公共属性, 并具有描述自身不同几何特性的特有属性。描述平曲线的实体具有上述类似的性质, 区别在于平曲线段需要额外引用平面曲线段实体 (IfcCurveSegment2D) 才能表达平面线形, 该实体类型具有平面直线段、平面圆弧段、平面缓和线段三

个特化类型。

上述 IFC 数据模型完备地描述了平、竖曲线的相关信息, 使得道路、桥梁、隧道等结构的构件可以将它们作为定位元素, 从而在局部坐标系下描述自身的几何信息。

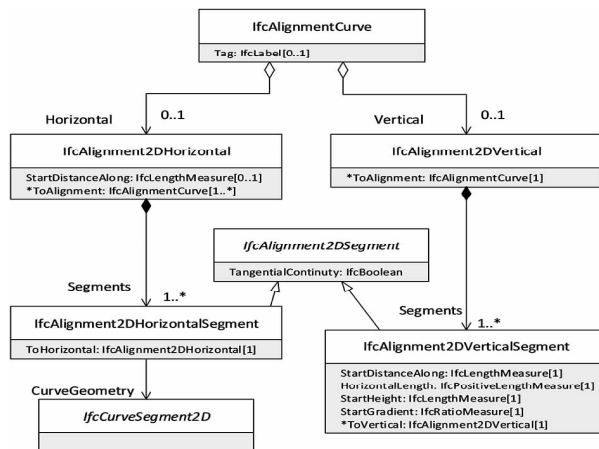


图 2 IfcAlignmentCurve 及相关实体的概念模型

3 基于 IFC 的桥梁信息模型表达

本节将详细探讨如何利用 IFC 数据模型表达基于平、竖曲线定位的桥梁上部结构主梁, 并主要从定位、几何形状和材料特性三个方面进行阐述。

3.1 定位

IFC4x1 以前主要借助实体 IfcLocalPlacement 描述构件的位置, 它通常作为抽象实体 IfcProduct (建筑产品) 的属性 ObjectPlacement 被引用, 而它自身引用它所参考的笛卡尔坐标系并描述一个新的局部坐标系, 在局部坐标系下定位的实体通过多次坐标矩阵变换可以得到最终的坐标位置^[9]。但该种方式不适用于基于曲线定位的几何实体, 因此 IFC4x1 中引入了实体 IfcDistanceExpression, 表 1 列出了该实体的属性定义, 它用沿线距离、横向偏移、竖向偏移等几个参数描述了参照曲线来定位的一个笛卡尔点的位置。

表 1 IfcDistanceExpression 实体属性定义

#	Attribute	Type
1	DistanceAlong	IfcLengthMeasure
2	OffsetLateral	IfcLengthMeasure
3	OffsetVertical	IfcLengthMeasure
4	OffsetLongitudinal	IfcLengthMeasure
5	AlongHorizontal	IfcBoolean

3.2 几何形状

IFC4x1 中引入了实体 IfcSectionedSolid(多截面实体)来表示沿曲线有截面变化的扫掠实体,表 2 列出了它的特化 IfcSectionedSolidHorizontal 的属性定义,属性 Directrix 表示所参考的曲线,它可以直接引用实体 IfcAlignmentCurve,也可以引用基于 IfcAlignmentCurve 偏移得到的实体 IfcOffsetCurveByDistances;属性 CrossSections 引用实体 IfcProfileDef 来表示截面形状,属性 CrossSectionPositions 则引用 3.1 所介绍的实体 IfcDistanceExpression 来表示每个截面相对参考曲线的位置,这两个属性对应的数组元素个数相等且至少为 2。

如图 3^[10]所示的多主梁钢板梁桥,单根钢主梁用继承自抽象实体 IfcProduct 的 IfcBeam 描述,其几何表示引用了实体 IfcSectionedSolidHorizontal。

表 2 IfcSectionedSolidHorizontal 实体属性定义

#	Attribute	Type
1	Directrix	IfcCurve
2	CrossSections	IfcProfileDef
3	CrossSectionPositions	IfcDistanceExpression
4	FixedAxisVertical	IfcBoolean

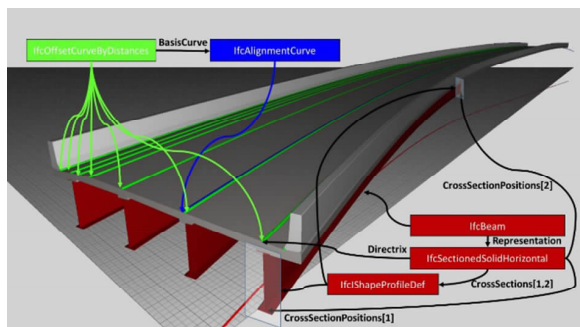


图 3 钢板梁桥 IFC 模型示例^[10]

实体 IfcProfileDef 可特化为多种具体的截面形式,包括(非)对称 I 形截面、T 形截面等参数化截面(均由实体 IfcParameterizedProfileDef 特化),适合描述规则的截面形式;同时也可以表示任意形状截面,即通过一组或几组多段线描述截面的外轮廓和内轮廓。除截面的几何形状外,实体 IfcProfileDef 还可以通过反属性 HasProperties 与预定义属性集 Pset_ProfileMechanical 关联,该属性集包含了截面面积、抗弯惯矩等截面特性的定义。需要注意的是,预定义

属性集是 IFCschema 中定义的一种信息扩展的机制,并不代表每一个软件厂商在实现 IFC 时一定会使用它,因此即使 IFC 文件中有关于截面的描述,但也不一定有关于截面特性的描述,在信息提取时需要根据情况进行处理。

图 4 展示了 IFC 物理文件中一段用实体 IfcBeam 及其属性描述 I 形截面主梁的数据样例,以“#”为前缀的数字代表实体的实例号,每个实例在单个文件中只能被定义一次,但可以被多次被其他实例的属性所引用。



图 4 EXPRESS 语言描述的 IFC 文件数据段示例

3.3 材料特性

位于资源层的实体 IfcMaterial 描述一种材料的基本属性,包括名称和分类,更具体的材料特性诸如容重、弹性模量等通过关联 Pset_MaterialCommon、Pset_MaterialMechanical 等预定义属性集来表达。在用 IFC 文件描述的一项实际工程中,IfcMaterial 的实例必定通过关系实体 IfcRelAssociatesMaterial 与某一具体的产品实例(如 IfcBeam)关联,否则不具有任何意义。

4 IFC 模型到 MCT 模型的映射

将 IFC 模型作为数据交换与共享的平台有效减轻了不同软件之间私自交换数据的实现代价,但仍需要考虑到 IFC 模型与数据交换目标平台之间的数据映射,接口设计不当或未考虑全面都有可能造成信息的丢失^[11]。本文选取了常用的桥梁计算软件 MIDAS Civil 作为目标平台,讨论了以 *.ifc 文件作为输入进行解析和处理,最终输出为 *.mct 文件(MIDAS 支持的脚本文件,可直接导入生成有限元模型)的过程。

4.1 IFC 数据读取

IFC 实例文件以 STEP 格式存储,访问其数据最常用的是早联编(early binding)和晚联编(late

binding) 两种实现方法^[12]。IFC Wiki 整理了支持 IFC 文件读写的一些开源项目^[13], 笔者经调研后选择了 IFC4x1 schema 支持较好的 xBIM Toolkit, 该工具箱核心库 XbimEssentials 采用 C# 语言实现了 IFC 数据模型, 并提供了完整的 API (程序编程接口) 供开发人员使用^[14], 图 5 中的 C# 代码展示了如何调用 xBIM 所提供的接口读取 IFC 文件中的信息。读者也可以选择用任何一种编程语言自行实现 IFC 文件读写功能, 好处是方便对 schema 进行扩展, 但开发工作量较大且运行效率不易保证。

```
const string fileName = "SampleHouse.ifc";
using (var model = IfcStore.Open(fileName)) 解析IFC文件得到Runtime model
{
    // get all doors in the model (using IFC4 interface of IfcDoor -
    // this will work both for IFC2x3 and IFC4)
    var allDoors = model.Instances.OfType<IfcDoor>(); 过滤得到所有IfcDoor的实例

    // get one single door by its unique identifier / guid
    var id = "2A5wZffu1AdA1KfEdrNPnu";
    var theDoor = model.Instances.FirstOrDefault<IfcDoor>(d => d.GlobalId == id);

    // get all basic properties of the door 以GUID为索引得到指定实例
    var properties = theDoor.IsDefinedBy
        .Where(r => r.RelatingPropertyDefinition is IfcPropertySet)
        .SelectMany(r => ((IfcPropertySet)r.RelatingPropertyDefinition).HasProperties)
        .OfType<IfcPropertySingleValue>();

    }
    用LINQ查询语句得到与该实例类型关联的全部属性
```

图 5 调用 XbimEssentials API 获取 IFC 数据代码示例

4.2 MCT 数据模型

通过分析 MIDAS 使用手册附录中的 MCT 命令说明, 抽象出图 6 所示的类关系图来模拟建立计算模型所需要的数据结构。所有的资源类均继承自抽象基类 MCTRoot, 因此拥有共同属性 Id, 具体到不同的资源表现为节点号、单元号、材料号和截面号。表示节点数据的类 MCTNode 较为简单, 除 Id 外只拥有 X、Y、Z 三个坐标值作为属性; 表示材料特性的类 MCTMaterial 和表示截面特性的类 MCTSection 根据材料类型、截面类型的不同, 具有不同的属性参数, 并可以进一步派生出更多子类; 尤其对于 MCTSection, 图 6 只展示了包含共同属性截面名称、截面类型等的抽象基类, 开发的过程中可以根据实际情况派生出所需要的类并定义其特有的属性, 如第 5 节中的转换程序用到了表示 I 形截面的类 MCTHSection; 表示单元类的 MCTElement 根据单元类型的不同将引用 2 至多个节点实例, 并关联对应的截面号和材料号。

4.3 数据映射

获取 IFC 模型数据后, 需要对相关实体的信息进行一定程度的处理才能映射到 MCT 数据模型上。处理工作包括:

1) 从模型中过滤出需要进行数据交换的实体 (IfcBeam);

2) 从上一步过滤得到的实体出发, 通过其属性和关系收集所有映射时需要用到的实体 (IfcMaterial、IfcAlignmentCurve 等);

3) 解析实体包含的信息并映射到各自对应的 MCT 类。

图 7 展示了 IFC 数据模型中相关实体与 MCT 数据模型相关类之间的映射关系。

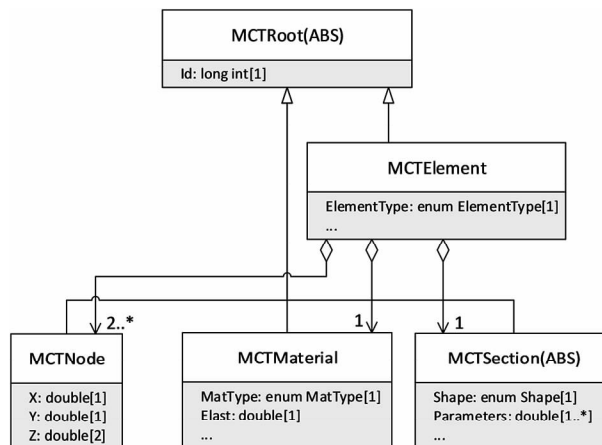


图 6 MCT 数据模型 UML 类图

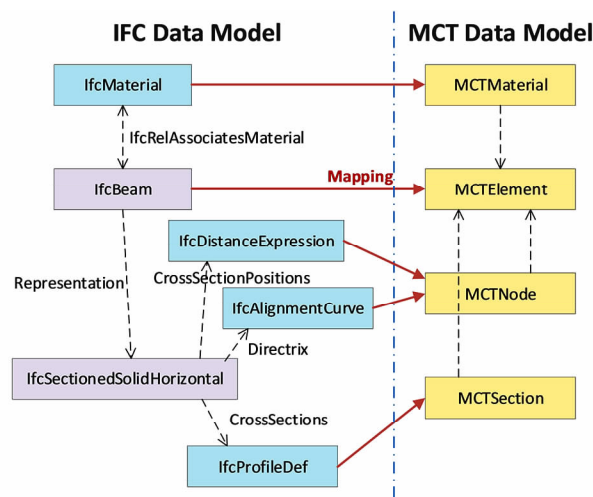


图 7 IFC 数据模型和 MCT 数据模型映射关系

对于同一个几何体, IFC 数据模型的描述方式与 MIDAS 计算模型中的描述方式并不完全相同, 因此需要进行一些额外的处理计算。以图 8 所示的 I 形截面梁为例, 在 IFC 模型中该扫描实体的中心线位于截面包围盒的中心, 而计算模型中梁单元的单元参考线位于截面形心, 为非对称截面时二者并不重合, 因此需要事先计算出截面的形心位置, 并在生成单元节点坐标时考虑该偏移量。

从图 8 的例子可以看到, 基于 IFC 的 BIM 模型

有时可能并未包含计算模型所需要的全部信息(如截面特性),需要对缺失的信息进行补全,因此数据映射时应根据需求充分考虑两种数据模型之间的共性和差异,尽量减少数据交换过程中信息的丢失。

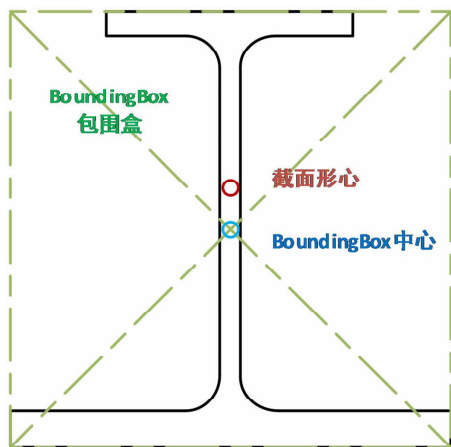


图 8 非对称 I 形截面

5 方法验证

为了验证本文提出的 IFC 模型与 MIDAS 模型映射的方法,笔者开发了模型转换程序原型,主程序采用 C#语言编写,IFC 文件解析部分调用开源库 XbimEssentials。以 IFC 4.1 Bridge Information Exchange - 2017 [Draft]提供的模型^[15]为测试文件作为转换程序的输入,成功将桥梁上部结构的钢主梁和混凝土桥面板转换为 MIDAS 计算模型,如图 9 所示,经对比验证,材料、截面等信息保持完整。尽管当前主流的 BIM 建模软件还不支持 IFC4x1 格式的导出,但可以利用支持 IFC4x1 读写的工具如本文采用的 xBIM 输出 IFC 数据以供进一步测试。

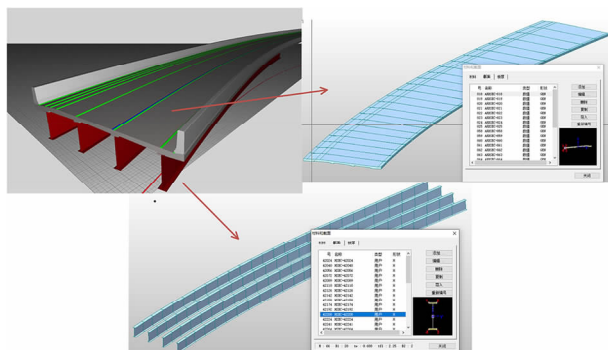


图 9 模型转换实例

对于类似的结构,在传统的方法中需要依靠工程人员从图纸或模型中识别出建立计算模型需要

的信息,然后手动在 MIDAS 软件中通过“自底向下”的方式依次输入建立节点、单元等所需要的数据,这一过程将耗费较长时间,并且当设计变更导致主梁的线形发生变化时,往往需要重新建模,由此带来了大量的重复工作;而采用本文提出的方法将由程序自动完成信息的提取和映射工作,尽管开发模型转换程序会耗费掉一些时间,但程序可被重复调用以解决同一类问题,因此对比传统方法,本文提出的基于 IFC 文件进行模型转换的方法具有明显的优势。

6 结语

随着标准的不断扩展和完善,IFC 数据模型将逐渐成为适用于整个土木建筑工程领域的通用数据存储与交换模型,但要打破建设工程项目的信息孤岛还需要各领域研究者进行更加深入的研究。本文提出的数据映射方法可在一定程度上减少桥梁设计人员重复建模的工作,但仍留有以下问题需要在今后的研究中解决:

1)IFC 模型可以简化为不同的计算模型,如计算整体受力时可以采用梁单元,而进行局部板件受力验算时则需要简化为板单元或实体单元模型,数据映射模型应根据实际需求的不同进一步完善。

2)不同阶段的 IFC 模型细度不同,其中一些可能未对构件之间的连接关系进行描述,或者描述信息不完整,模型映射时如何处理这些连接还需要进一步研究。

3)本文的研究是在 IFC4x1 final 的基础上进行的,根据后续 IFC 版本的更新,桥梁信息模型的描述方法和数据映射方法都需要进行补充和调整。

参考文献

- [1] 王勇, 张建平, 胡振中. 建筑施工 IFC 数据描述标准的研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2011, 3(4): 9 - 15.
- [2] Cheng J. C. P., Lu Q., Deng Y. Analytical review and evaluation of civil information modeling[J]. Automation in Construction, 2016, 67: 31 - 47.
- [3] buildingSMART International. Infrastructure [2018 - 12 - 24]. <http://www.buildingsmart-tech.org/infrastructure>.
- [4] Tim Chipman, Charles Eastman et al. Bridge Information

- Modeling Standardization Report Volume II - Schema Analysis [2019 - 1 - 3]. <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/pubs/hif16011/>
- [5] buildingSMART International. IFC4x1 Final - 2017.06.08 [Official] [2018 - 12 - 20]. <http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4x1/final/html/>
- [6] 秦领, 刘西拉. 建筑物理模型与结构分析模型的数据映射研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2010, 02(2): 28 - 36.
- [7] 张晓洋, 胡振中. 面向结构有限元分析的模型转换方法研究[J]. 工程力学, 2017(06): 131 - 138.
- [8] Rumbaugh, James. The unified modeling language reference manual[M]. China Machine Press, 2006.
- [9] 张建平, 张洋, 张新. 基于 IFC 的 BIM 三维几何建模及模型转换[J]. 土木建筑工程信息技术, 2009, 1(1): 40 - 46.
- [10] Andre Borrmann et al. IFC Infra Overall Architecture Project Documentation and Guidelines [2018 - 12 - 24]. https://www.buildingsmart.org/wp-content/uploads/2017/07/08_bSI_OverallArchitecture_Guidelines_final.pdf
- [11] Huahui Lai, Xueyuan Deng. Interoperability Analysis of IFC - based Data Exchange Between Heterogeneous BIM Software[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2018, 24(7): 537 - 555
- [12] Andre Borrmann et al. Building Information Modeling - Technology Foundations and Industry Practice [M]. Springer, 2018.
- [13] Karl - Heinz Häfele, Open Source Projects supporting IFC, [2018 - 12 - 24], http://www.ifcwiki.org/index.php?title=Open_Source
- [14] Lockley, S., Benghi, C., ern M. Xbim.Essentials: a library for interoperable building information applications[J]. Journal of Open Source Software, 2017, 2(20): 473.
- [15] National Institute of Building Sciences, IFC 4.1 Bridge Information Exchange - 2017 [Draft] Examples, [2018 - 12 - 24], <http://www.buildingsmart-tech.org/mvd/IFC4x2/BRic/0.1/html/annex/annex-e/us.ifc>

Development of IFC4x1-Based Data Transformation for Bridge Information Model

Lv Kaiyuan, Xu Jun

(Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The Industry Foundation Class (IFC) is an international standard which describes building and construction industry data. IFC has been widely developed and applied in architecture fields, but has relatively less research on alignment-based infrastructure projects such as roads, bridges and tunnels, which hinders the data sharing in these areas. In this paper, methodologies to describe the spatial location, geometry and other attributes of bridge superstructures based on IFC4x1 schema are introduced. This paper also presents an approach to map data from IFC to MIDAS Civil. Additionally, a prototype is developed based on the open-source library XbimEssentials to verify the approach presented.

Key Words: Bridge Information Modeling; IFC; Data Mapping