

有限元解析软件
- 盐 害 应 对 系 统 -
ENGAI

概要

株式会社 计算力学研究所
日本 东京

ENGAI 是日语『盐害』的罗马字拼写，也是『盐害应对系统』的简称。ENGAI 是由有『日本有限元解析法第一人』之称的 日本东京大学生产技术研究所教授 山田嘉昭 于 1982 年创立的『计算力学研究所』针对盐害对钢筋混凝土损害的模拟与评价而开发设计的专业有限元软件。

目录

封面.....1

目录.....2

1、简介.....3

2、特征.....3

3、解析概要.....4

4、运行环境.....5

5、解析实例.....5

附录.....7

①基础方程式.....7

②操作画面.....8

1. 简介

盐害 (Salt Damage) 对钢筋混凝土建筑物表面防腐覆盖物的剥离及其内部钢筋的腐蚀的影响, 在盐害地区和非盐害地区存在着很大的区别, 一般来说, 盐害地区建造的钢筋混凝土建筑物其受害程度要比非盐害地区高出很多, 所以对盐害地区建造的钢筋混凝土建筑物实施补修和补强就成为一种不可避免的防腐技术手段。补修和补强最常用的方法就是增加表面防腐覆盖物的厚度以及采用防腐钢筋等, 这样初期建设成本和后期维护成本都将随着相应提高, 因此在盐害地区建造钢筋混凝土建筑物的可行性分析中, 如何对初期建设成本和后期维护成本进行预算以及如何对该建筑物的寿命进行合理的评价都有着非常重要的意义。

为了减少盐害的影响程度, 确保建筑物的设计和使用寿命, 在盐害地区建造钢筋混凝土建筑物的设计阶段, 一般对表面防腐覆盖物的厚度、防腐钢筋的选择以及混凝土的致密程度都有着严格的技术要求, 不仅要有严密的定性理论说明, 而且还必须要有确切的定量解析数据。

本系统『盐害应对系统』正是为了满足上述目的而开发的一种大型有限元解析软件, 基于盐害地区的环境参数及建筑物本身的物理参数, 通过对钢筋混凝土中盐份 (氯离子) 浓度的渗透模拟, 不仅可以对建造物在盐害环境中的补修补强周期年数和耐久寿命年数进行准确的预测和评价, 而且还可以对建造物的初期建设成本和后期维护成本进行合理的预算和评估, 是目前流行于全球建筑行业的“全寿命经济分析法 - LCCA (Life-Cycle Costing Analysis)”的一种实用化解析工具。

2. 特征

本系统应用有限元法, 通过解析基于质量守恒的氯离子渗透及扩散支配方程式 (参照附录①) 来模拟一维和二维的盐害问题, 方程式中的所有必要参数都可根据具体情况变更, 处理范围广泛。另外, 解析进行前的预处理 (网格划分及数据设定) 和解析进行后的后处理 (结果表示及图表生成), 都通过 GUI (Graphic User Interface) 的友好界面 (参照附录②) 实现, 可以实现完全可视化的数值模拟。

本系统解析的主要特征是由外部氯离子量或固定盐分量, 并同时考虑雨水等对盐化物的淡化因素, 算出钢筋混凝土中的氯离子浸透量。而影响氯离子在钢筋混凝土中的浸透量的扩散系数则有以下几种算法:

- A、根据环境温度、环境湿度以及水泥的水和性计算
- B、如果有必要亦可指定覆盖物的劣化特性和剥离时期以及指定耐久年数
- C、固定扩散系数

解析进行前的网格划分和数据设定等预处理均由画面指定执行，特别是一些与环境因素和物理条件相关的复杂入力项目，全部数据库化，以选项的形式出现于画面内，简单便捷易于操作。

解析进行后的结果表示，从网格的表示到氯离子浓度等高线、各结点浓度分布及各断面浓度分布的表示，均实现可视化，简洁易懂便于把握。

解析所要的时间一般依存于网格划分的数量和计算机的环境，但大多数情况只要数分钟到数十分钟即可完成相关的计算。如果需要大量计算，亦可适当减少网格划分的数量，从节约时间和多方面的角度来作适当的调整然后进行解析。

3. 解析概要

目前本系统的数值模拟，除了能对盐分（氯离子）的浸透量进行计算之外，也可以结合涂装和补修进行综合评价。

盐分（氯离子）浸透量的计算，由于应用本软件所进行的一维计算解与理论解非常吻合，据此结果即可模拟和评价更为复杂的实际问题。而当与涂装和补修综合考虑时，则是以算定涂装和补修周期，确保钢筋混凝土建筑物的使用寿命为主要目的。也就是说，对每隔一定时间就要对混凝土表面进行涂装，当内部钢筋的盐分浓度达到临界损伤浓度时就要进行补修，这样反复进行直到最后一次涂装和最后一次补修这个过程进行模拟和解析。

① 模拟和解析时的主要对策有以下几种：

- 补修

混凝土中的盐分浓度达到钢筋损伤发生的临界浓度或者钢筋的腐蚀量达到产生混凝土裂纹的临界腐蚀量时，剥离混凝土表面的覆盖层然后重新涂装上新的防腐覆盖层。

- 涂装

现有的防腐覆盖层到达使用寿命但还没有达到补修的程度时，再在现有的防腐覆盖层上涂装新的防腐覆盖层。

- 人工指定

设计者亦可任意指定涂装和补修时刻，即可以同时指定也可以分别指定。

② 钢筋损伤发生的临界盐分浓度和混凝土产生裂纹的临界钢筋腐蚀量：

- 钢筋损伤发生的临界盐分浓度

临界浓度：0.4%（盐分重量与水泥的重量比），可以任意指定。

- 混凝土产生裂纹的临界钢筋腐蚀量

临界腐蚀量：10mg/cm²，可以任意指定。

4. 运行环境

本系统可在 Windows 操作平台上运行，具体运行环境如下：

① Operating System (OS)

- Microsoft Windows 98 (Second Edition)
- Microsoft Windows NT 4.0 Service Pack 4 以上

② Personal Computer (OS, CPU, MEM, DISK)

- AT/AT 互换机 (98, Pentium II 300MHz, 128M, 2G)
- AT/AT 互换机 (NT, Pentium III 600MHz, 256M, 20G)
- AT/AT 互换机 (NT, Pentium II Dual Processor 300Mhz*2, 384M, 4G)
- AT/AT 互换机 (98, Celeron 566MHz, 256M, 15G)

③ 内存

- 推荐 64M Bytes 以上

④ 硬盘

- 推荐 50M Bytes 以上

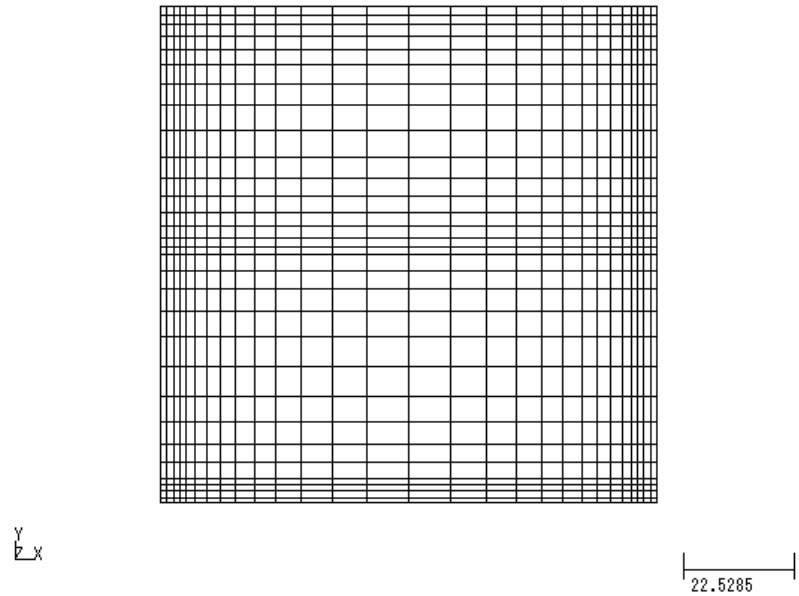
⑤ 显示屏

- 24 Bit Color 以上 (65536 色以上)
- 画面大小 800x600 以上 (推荐 1024x768 以上)

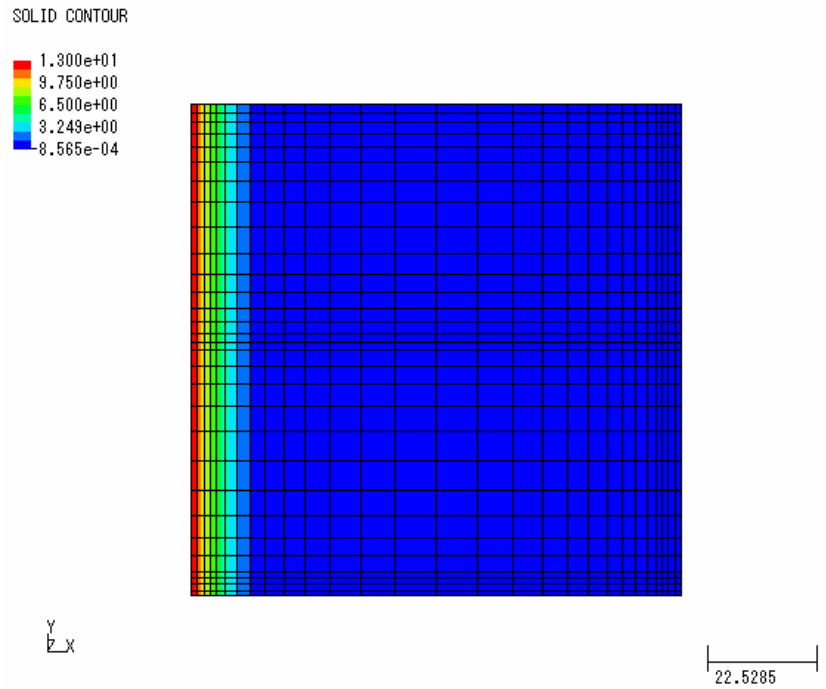
5. 解析实例

下面通过介绍一个简单的实例来说明应用本系统的具体解析。计算模型参见图（1），模型的扩散系数为 $4.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，左侧面的盐份浓度为固定值 13 kg/m^3 ，解析后可得 20 年后的盐化物浓度分布图（2），如果将图（2）的结果与基於 Fick 法则的一维扩散方程式的理论解

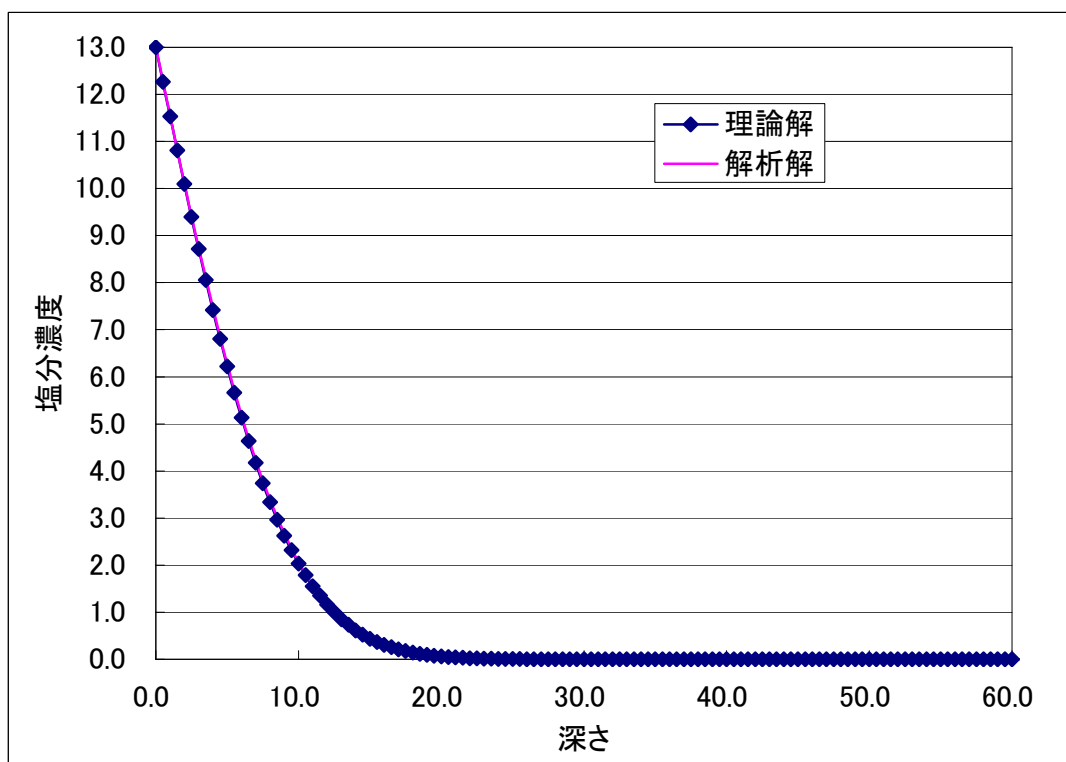
作比较即可得到图（3），图（3）中的 X 轴代表从模型表面开始的深度，Y 轴代表盐分浓度，从图（3）的结果我们不难得出如下结论：本系统的解析解同理论解在解析全域范围内基本吻合。



图（1）、网格划分



图（2）、20 年后的盐化物浓度分布



图（3）、解析解同理论解的比较

附录① 基础方程式

盐化物（氯离子）浓度由以下扩散方程式计算：

$$\frac{\partial C_t}{\partial t} = \text{div}[D_a \text{grad}(C_t)] - u \frac{\partial C_f}{\partial x_i}$$

其中、

D_a : 修正扩散系数 ($=D_i/\alpha$)

D_i : 定常状态的扩散系数

C_t : 全盐分量 ($=\alpha C_f$)

C_f : 水分中的盐化物浓度

$$\alpha = w + (1-w_{sat}) \gamma$$

w : 含水率

w_{sat} : 空隙率

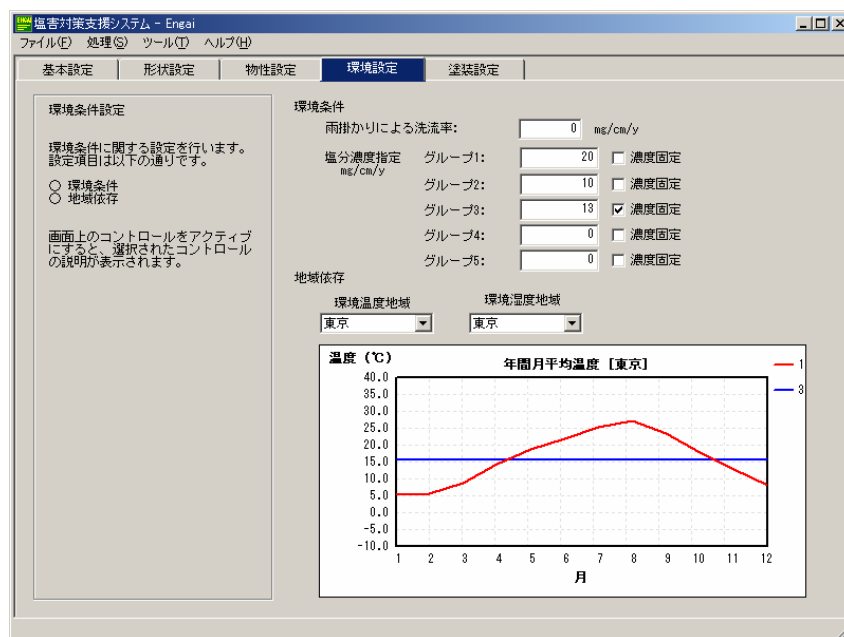
$$\gamma = C_s/C_f$$

u_i : 扩散速度

流入、流出面的边界条件由控制盐份浸透的 Flux 形式设定。

附录② 操作画面

解析前的各种数据的设定和解析后的各种结果的表示都通过窗口界面实现，主要的窗口界面有以下几种：



主画面窗口

鉄筋腐食を考慮する

鉄筋腐食を考慮して計算を行う場合はチェックします。

鉄筋腐食を考慮する場合は、幾つかの項目も同時に指定しなければなりません。

解析基本設定

計算時間刻み: 秒 ☐ 移流速度を考慮する

結果出力間隔: 月

計算終了時刻: 年

補修基本設定

補修指定:

鉄筋損傷発生塩化物濃度: %

☒ 鉄筋腐食を考慮する

腐食を起こす限界塩化物濃度: kg/m3

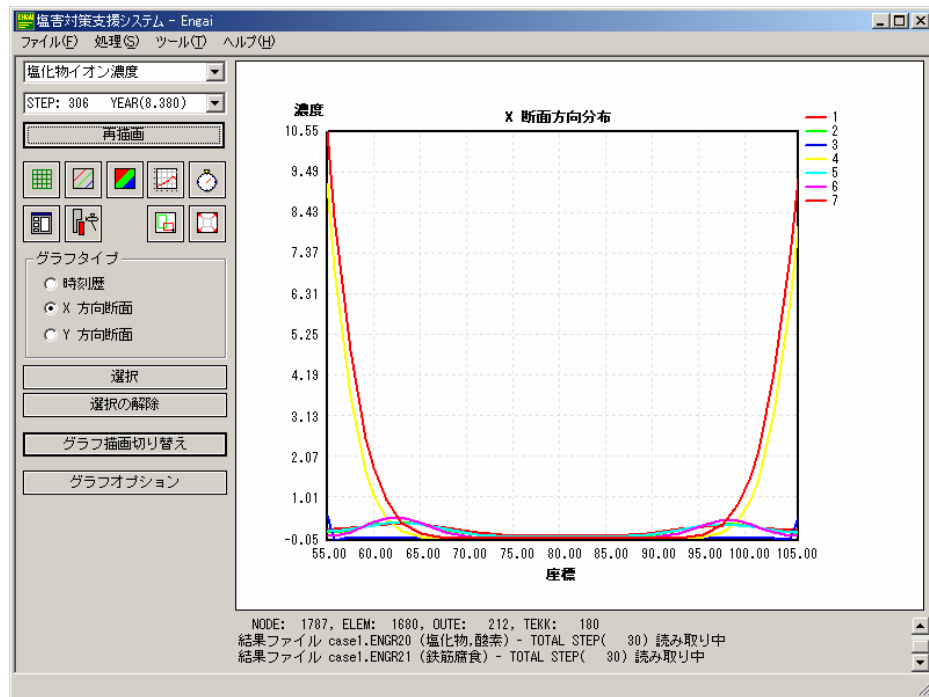
ひび割れ発生時の鉄筋腐食量: mg/cm2

補修判定用鉄筋腐食量: mg/cm2

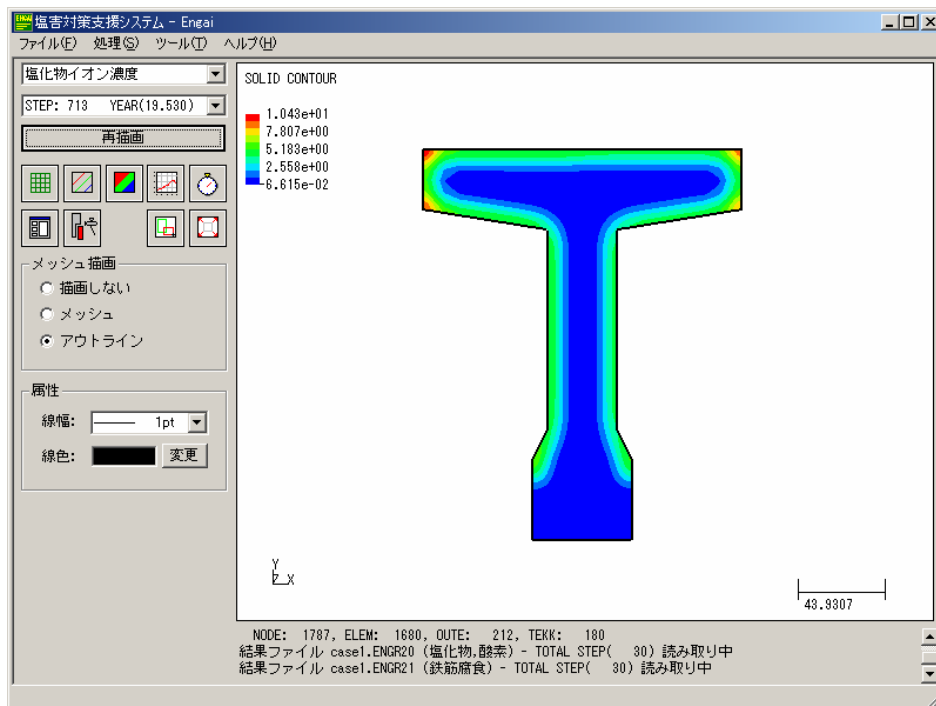
鉄筋径: cm

☐ 腐食鉄筋は全領域から判定

入力画面窗口



結果表示画面窗口 (1)



結果表示画面窗口 (2)

— 完 —