

文章编号: 1000-7598 (2012) 增 2-0105-06

EN1997-1 设计方法与国内规范设计方法对比

李元松¹, 余顺新², 邓 涛²

(1. 武汉工程大学 环境与城市建设学院, 武汉 430073; 2. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 武汉 430056)

摘 要: 系统研究掌握国外标准规范, 是企业跨出国门走向海外市场的第一步, 也是增强国际竞争力的关键。同时, 修订与完善国内现行规范, 必须借鉴与吸收国际标准的先进经验。介绍了欧洲规范 EN1997-1^[1]设计原理, 包括作用、效应、抗力与极限状态验算不等式, 分析 3 种设计方法的取值特点与应用现状。以《建筑地基基础设计规范》^[2]为例, 对比分析中欧岩土工程设计规范中设计方法的异同点及国内规范存在的问题。以一浅基础设计实例, 说明欧洲规范 3 种设计方法与国内规范设计方法设计结果的差异, 并在该基础之上, 提出改进国内规范设计方法的几点建议。

关 键 词: 中欧规范; 岩土工程; 设计方法; 对比分析

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Comparing three design approaches in EN1997-1 Eurocode with those in Chinese geotechnical design code

LI Yuan-song¹, YU Shun-xin², DENG Tao²

(1. School of Environmental and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073, China;

2. China Communications Construction Company Second Highway Consultants Co., Ltd., Wuhan 430056, China)

Abstract: A systematic study of foreign standards, is the first step and key problem for the enterprise to go abroad to overseas market, and to enhance the international competitiveness. On the other hand, the revision and perfection of current domestic codes must draw lessons and absorb the advanced experiences from international standards. The basic principle of the European geotechnical engineering design code^[1] including the action, effect, resistance and limit state calculation inequality, taking value characteristic of partial factors and application situation for three design approaches are introduced. Taking “The code for design of building foundation”^[2] for example, the comparative analysis is made to find the similarities and differences in design approaches of the Chinese and European geotechnical design codes and the problems in domestic standards. Finally, a shallow foundation design example is given to illustrate the computing errors among three kinds of design approaches of European standard and those of domestic design codes. On this basis, the suggestions for improvement of domestic design codes are put forward.

Key words: Chinese and European standards; geotechnical engineering; design approach; comparing analysis

1 引 言

规范是工程设计的灵魂, 系统地研究掌握国外标准规范, 是企业跨出国门走向海外市场的第一步, 也是增强国际竞争力的关键, 同时, 修订与完善国内现行规范, 必须借鉴与吸收国际标准的先进经验。欧洲规范是一套用于建筑和土木工程设计与施工的欧洲标准, 由欧洲标准化委员会编制。这是各成员国的经验与研究的结晶, 也是 CEN 技术委员会 250 (CEN/TC250) 及国际科学技术机构专业

技术的结晶, 代表了结构设计的世界级标准。欧洲规范由 10 卷欧洲结构设计标准组成, 每卷包含若干分册, 综合涵盖所有主要建筑材料、主要结构工程领域以及各种结构类型等的设计、施工、使用与维护等规则与规定^[1-3]。

EN1997 为欧洲规范第 7 卷由岩土工程设计 (EN1997-1) 和场地勘察与岩土试验 (EN1997-2) 两部分组成^[4-5]。3 种设计方法是 EN1997-1 的核心内容, 也是与我国岩土工程设计规范较大差异所在, 对其设计原理、计算公式以及计算精度进行深

收稿日期: 2011-12-12

基金项目: 国家自然科学基金资助 (No. 51054005)。

第一作者简介: 李元松, 男, 1964 年生, 博士, 教授, 主要从事岩土工程领域的教学与研究。E-mail: Li_yuan_song@126.com

对于非桩与锚固结构, 作用组合为

$$\text{组合 1: } A1^{+}+M1^{+}+R1 \quad (6)$$

$$\text{组合 2: } A2^{+}+M2^{+}+R1 \quad (7)$$

式中: $A1$ 为作用为 $A1$ 组值; “+”为与后面 $M1$ 组合; $M1$ 为材料分项系数取 $M1$ 组值; $R1$ 为抗力取 $R1$ 组值。

对于桩和锚固结构设计, 作用组为

$$\text{组合 1: } A1^{+}+M1^{+}+R1 \quad (8)$$

$$\text{组合 2: } A2^{+}+(M1 \text{ 或 } M2)^{+}+R4 \quad (9)$$

当各分项系数集合的某一组合起决定作用时, 设计不需计算其组合。通常, 岩土工程“尺寸确定”由组合 2 控制, 而结构设计则由组合 1 控制。

3.2 设计方法 2

设计方法 2 将分项系数集合的单一组合用于地层和结构承载力极限状态的检查计算, 见图 2。组合为

$$A1^{+}+M1^{+}+R2 \quad (10)$$

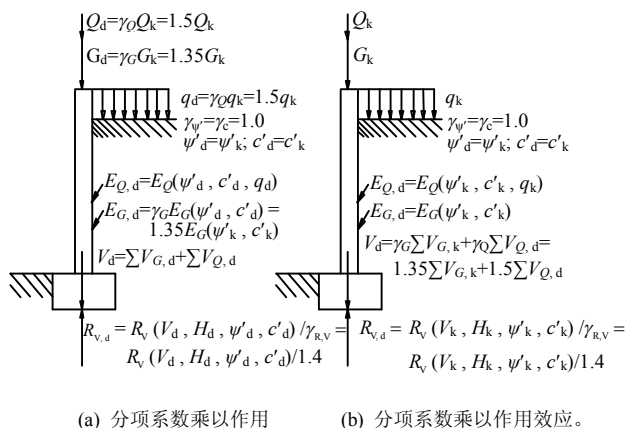


图 2 用设计方法 2 检查地层承载力时采用分项系数
Fig.2 Partial factors in the checking of ground bearing capacity using design approach 2

岩土作用和结构所承受或结构所施加作用采用相同的分项系数值。地层抗力以及作用或作用效应也采用分项系数。

分项系数两种方法的实际应用以及这两种方法的结果有所不同, 将系数用于作用的方法采用了 EN1997-1 附录中表 A.3 集合 $A1$, 表 A.4 集合 $M1$ 以及表 A.5~A.8, A.12~A.14 的集合 $R2$ 的系数。将分项系数应用于作用效应的方法采用相同的系数, 但使用等于其特征值的作用设计值和地层强度参数设计值计算 E 和 R 。最后, 将分项系数用于永久和可变作用的组合效应和使用土体特性特征值计算抗力。该方法能与传统的安全总系数 $\eta = R_k/E_k$ 建

立直接的关系, 则式 (1) 可写成

$$\gamma_E E\{F_{rep}, X_k, a_d\} \leq R\{F_{rep}, X_k, a_d\} / \gamma_R \quad (11)$$

从而

$$\eta = \gamma_E \gamma_R \quad (12)$$

3.3 设计方法 3

设计方法 3 将各分项系数集合的单一组合用于检查地层和结构承载力极限状态的计算, 见图 3。组合为

$$(A1 \text{ 或 } A2)^{+}+M2^{+}+R3 \quad (13)$$

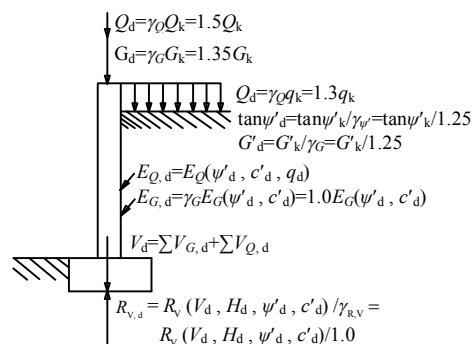


图 3 用设计方法 3 检查地层承载力时采用分项系数
Fig.3 Partial factors in the checking of ground bearing capacity using design approach 3

4 3 种设计方法的应用背景

1981 年开始编制欧洲规范 7 时, 参与起草欧洲材料规范和欧洲规范 2~6 的专家们已就混凝土结构、钢结构、木结构和砌体结构的设计做出一项决定, 即通过使用分项系数, 基于极限状态设计格式制定规范。对于负责起草欧洲规范 7 的专家而言, 这完全是一种全新的思维方式, 因为大多数相关国家几乎从未获得与这些概念相关的经验。在此之前, 大多数国家的岩土工程设计几乎无一例外地基于总体安全系数的工作应力模式。

除了人性中对行为和习惯变化所固有的抵制情绪外, 以下两方面成为岩土工程设计中采用极限状态设计模式障碍:

(1) 欧洲各地区的地质条件各不相同, 其地层条件也是如此。这就导致现场勘测和室内试验方法以及计算方法和设计程序存在明显差异。例如, 在中欧地区, 使用旁压试验以及基于该类试验结果的设计规定是最流行的做法, 而在北欧地区, 设计规定通常是基于试验室试验参数以及标准贯入试验和十字板剪切试验结果。

(2) 负责起草欧洲材料规范的专家(1981 年)已做出选择,即在永久和临时状况下的承载能力极限状态设计中,将数值 1.35 用作不利永久作用的分项系数。在岩土工程设计中,地层的自重通常是主要作用,但是,通常很难准确地确定哪一部分地层自重为有利作用,哪一部分地层自重为不利作用。

欧洲规范 7 的 ENV 版本中,上述难题通过一项提议得到了解决,即岩土结构的承载能力极限状态设计应涉及 2 项计算,每项计算有不同的分项系数,计算 1:永久作用的分项系数大于 1.0,而岩土材料强度参数的分项系数则设为 1.0;计算 2:岩土材料强度参数的分项系数大于 1.0,而永久作用的分项系数则设为 1.0。

对于永久和瞬时状态下的所有承载能力极限状态设计,原则上需要检查两项独立计算中应用的 2 个分项系数。但是,有关欧洲规范 7 第一部分 ENV 版本的国家解释表明,该规范规定永久和临时状况下承载能力极限状态设计检查的方式并不尽如人意。有关更改的提议主要有两种:(1)尝试减少计算的假设数量,如从 2 个到 1 个;(2)同时采用抗力和效应分项系数,而不是仅采用材料(地层)参数和作用分项系数。

作为可选方案,欧洲规范 7 第一分册的 EN 版本以及欧洲规范结构设计依据包含了上述 3 种适用于永久和临时状态下承载能力极限状态的设计方法,目前英国和丹麦使用 DA1,德国在基础设计中使用 DA2,而边坡设计中使用 DA3;法国采用 DA2,有些情况下也采用 DA3,其他一些国家允许使用所有的方法^[6-8]。

Eric 曾对一条形基础实例应用 Eurocode7 中不同设计方法计算,计算结果见图 4。从结果可以看出,DA3 与传统的安全系数法结果十分接近,DA1 和 DA2 的结果基本相同^[9]。

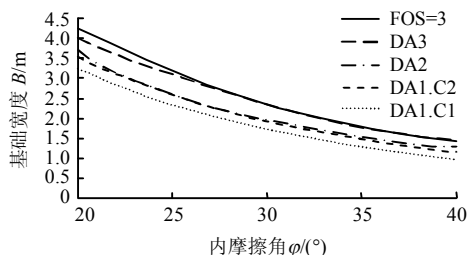


图 4 不同设计方法计算的基础宽度与土体内摩擦角关系

Fig.4 Curves of foundation width calculated by different methods and soil friction angle

5 我国岩土工程规范设计方法

在岩土工程的承载力和稳定设计中,主要存在 3 种设计理论或方法:容许承载力设计、极限状态的单一安全系数设计和极限状态的基于可靠度理论的分项系数设计^[10-13]。《建筑地基基础设计规范》^[2]针对不同问题将 3 种设计方法混合使用:

(1) 其荷载与荷载效应是按《建筑结构荷载规范》确定,因而是更接近于可靠度设计原则。地基承载力确定基本上是容许承载力方法和安全系数法(指荷载试验中,用极限承载力除以安全系数确定承载力)。但用公式计算地基承载力时,强度指标 c_k 和 ϕ_k 的确定又采用了概率论和数理统计的概念和方法。

(2) 在地基及其他稳定验算中采用的是单一安全系数法。由于它无法与分项系数联系起来,尽管采用了承载能力极限状态荷载效应的基本组合,但各种分项系数均采用 1.0,与单一安全系数理论方法一致。

(3) 由于基础的结构设计与建筑物上部结构设计是一体的,可以采用基于可靠度理论基础上的分项系数法进行,如抗弯、抗剪、抗冲切等验算。

目前《建筑地基基础设计规范》较其他行业岩土工程设计规范相对先进和完善,尚且不能完全实现概率极限状态设计方法,可见国内规范与欧洲规范在理论上仍存在一定差距。

6 算例

如图 5 方形基础,埋深 1.0 m,厚 0.5 m,承受 270 kN 永久竖向轴心荷载,70 kN 的可变荷载。地层参数如图 5 所示,要求确定基础宽度 B 。地层特性: $\gamma_k=18 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{k\text{water}}=10 \text{ kN/m}^3$, $\gamma'_k=8 \text{ kN/m}^3$, $\psi'_k=20^\circ$, $c'_k=5 \text{ kPa}$, $c_{uk}=30 \text{ kPa}$ 。

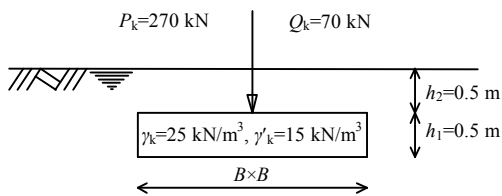


图 5 基础计算示意图

Fig.5 Sketch of foundation calculating

6.1 按欧洲规范设计

(1) 设计方法 1 组合 2

检查 $1.7 \text{ m} \times 1.7 \text{ m}$ 的基础是否符合要求 $V_d \leq R_d$ 。

用 EN1997-1 附表 A.3 组 A2 作用系数计算作用设计值: $V_d = \gamma_G(P_k + G_k) + \gamma_Q Q_k = 1.0 \times (270 + 62) + 1.3 \times 70 = 423 \text{ kN}$ 。运用 EN1997-1 附录 D 的公式 (D.1) 计算承载力 R_d :

$$R_d / A = (\pi + 2) c_{u,d} b_c s_c i_c + q_d \quad (14)$$

式中: $c_{u,d} = c_{u,k} / \gamma_{cu} = 30 / 1.4 = 21.4 \text{ kPa}$; $s_c = 1.2$ (方形); $b_c = 1$ (水平); $i_c = 1$ (垂直荷载); $q_d = \gamma / \gamma_r (h_1 + h_2) = (18 / 1.0) \times (0.5 + 0.5) = 18 \text{ kPa}$ 。代入抗力计算式可得 $R_d / A = (3.14 + 2) \times 21.4 \times 1 \times 1.2 \times 1 + 18 \times 1 = 150 \text{ kPa}$ 。基础垂直承载力设计值 $R_d = 150 \times 1.7 \times 1.7 = 433 \text{ kN}$ 。由于 $423 \text{ kN} < 433 \text{ kN}$, 满足 $V_d \leq R_d$ 。

(2) 设计方法 1 组合 1

检查 1.7×1.7 的基础是否符合要求 $V_d \leq R_d$ 。

用 EN1997-1 表 A.3 组 A1 作用系数计算作用设计值: $V_d = \gamma_G(P_k + G_k) + \gamma_Q Q_k = 1.35 \times (270 + 62) + 1.5 \times 70 = 553 \text{ kN}$ 。用表 A.4 组 M1 分项系数, 计算材料强度设计值, $c_{u,d} = c_{u,k} / \gamma_{cu} = 30 / 1.0 = 30 \text{ kPa}$, 其余参数同组合 2, 则有 $R_d / A = (3.14 + 2) \times 30 \times 1 \times 1.2 \times 1 + 18 \times 1 = 203 \text{ kPa}$ 。基础垂直承载力设计值为: $R_d = 203 \times 1.7 \times 1.7 = 586 \text{ kN}$ 。由于 $553 \text{ kN} < 586 \text{ kN}$, 满足 $V_d \leq R_d$ 。此时, 总体安全系数 $OFS = R_k / (P_k + Q_k + G_k) = 586 / (270 + 70 + 62) = 1.46$ 。

(3) 设计方法 2

检查 2.0×2.0 的基础是否符合要求 $V_d \leq R_d$ 。

用 EN1997-1 附表 A.3 中组 A1 作用系数计算作用设计值: $V_d = \gamma_G(P_k + G_k) + \gamma_Q Q_k = 1.35 \times (270 + 86) + 1.5 \times 70 = 585 \text{ kN}$ 。用附录 D 中引入土体性质特征值公式 $c_{u,k} = 30 \text{ kPa}$ 。其余参数与方法 1 相同, 则有 $R_d / A = (3.14 + 2) \times 30 \times 1 \times 1.2 \times 1 + 18 \times 1 = 203 \text{ kPa}$ 。承载力设计值 $R_d = R_k / \gamma_{R,v} = 203 \times 2 \times 2 / 1.4 = 580 \text{ kN}$ 。因 580 kN 接近 585 kN , 可视为近似满足要求。总体安全系数: $OFS = R_k / (P_k + Q_k + G_k) = 812 / (270 + 70 + 62) = 1.91$ 。

(4) 设计方法 3

检查 $2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$ 的基础是否符合要求 $V_d \leq R_d$ 。

用 EN1997-1 附表 A.3 组 A1 作用系数计算作用设计值: $V_d = \gamma_G(P_k + G_k) + \gamma_Q Q_k = 1.35 \times (270 + 86) + 1.5 \times 70 = 585 \text{ kN}$ 。运用附录 D 中对不排水强度作用分项系数, 则有 $c_{u,k} = 30 / 1.4 = 21.4 \text{ kPa}$ 。其余参数与方法 1 相同, 则有 $R_d / A = (3.14 + 2) \times 21.4 \times 1 \times 1.2 \times 1 + 18 \times 1 = 150 \text{ kPa}$ 。承载力设计值: $R_d = 150 \times$

$2 \times 2 = 600 \text{ kN}$ 。由于 $V_d = 586 \text{ kN} < R_d = 600 \text{ kN}$, 满足要求。总体安全 $OFS = R_k / (P_k + Q_k + G_k) = 812 / (270 + 70 + 62) = 1.91$ 。

6.2 按国内规范进行设计

(1) 根据《建筑地基基础设计规范》按抗剪强度指标确定地基承载力特征值:

$$f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_{uk} \quad (15)$$

查表 5.2.5, 可得承载力系数 $M_b = 0$, $M_d = 1.00$, $M_c = 3.14$, 因此 $f_a = M_b \gamma b + M_d \gamma_m d + M_c c_{uk} = 0 + 1 \times 18 \times 1.0 + 3.14 \times 30 = 112.2 \text{ kPa}$ 。

(2) 基础宽度

$A \geq \frac{F_k}{f_a - \gamma H} = \frac{270 + 70}{112.2 - 18 \times 1.0} = 3.6 \text{ m}^2$, 取 $B = 2 \text{ m}$, 此时, $A = 4 \text{ m}^2$ 。

(3) 验算地基承载力

上部荷载 $270 + 70 = 340 \text{ kN}$, 基础板及回填土重 $2 \times 2 \times 1 \times 20 = 80 \text{ kN}$, $p_k = (F_k + G_k) / A = 420 / 4 = 105 \text{ kPa} < 112.2 = f_a$, 满足要求, 所以可以接受 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 基础。

对此例而言, 尽管中欧规范计算结果相差不大, 但欧洲规范理论严密, 概念清晰, 而国内规范无法得出抗力及分项系数的准确值, 其安全可靠也无法确知。

7 结 论

(1) EN1997-1 中的 3 种设计方法中, DA1 为材料分项系数法, DA2 为荷载抗力分项系数法, 即分项系数作用于作用和抗力, DA3 也为材料分项系数法, 但与 DA1 不同, DA1 采用 2 组分项系数, 而 DA3 只采用了 1 组分项系数。

(2) 欧洲规范已统一实现概率极限状态设计法, 国内岩土工程规范设计方法与理论不统一, 与结构设计相关的部分用到概率极限状态法, 与地基承载力和整体稳定性部分则使用安全系数法。

本文关于浅基础及作者另文关于桩基础设计计算例均表明, 国内岩土工程设计规范均比欧洲规范保守。岩土工程的不确定性很强, 性质复杂, 影响因素众多。过细过死的“傻瓜”式规范将限制岩土工程技术人员积极性与创造性, 不利于从业人员水平的提高。

参 考 文 献

- [1] European Committee for Standardization. EN 1997-1

- Eurocode7 geotechnical design. Part 1: General rules[S]. London: BSI, 2004.
- [2] 中国工程建设标准化协会. GB50007—2002 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2010.
- [3] 陶洪辉. 欧洲规范最新体系的研究[J]. 红水河, 2009, 27(10): 52—59.
- TAO Hong-hui. Research on latest system of Eurocodes[J]. **Hongshui River**, 2009, 27(10): 52—59.
- [4] European Committee for Standardization. EN1990 Eurocode basis of structural design[S]. London: BSI, 2002.
- [5] FRANK R, BAUDUIN C, DRISCOLL R, et al. Designers' Guide to EN1997—1: Eurocode7 geotechnical design and general rules[M]. London: Thomas Telford Ltd., 2004.
- [6] 王永强, 王勇. 欧洲规范的现状与未来发展[J]. 公路工程, 2007, 32(10): 167—170.
- WANG Yong-qiang, WANG Yong. Eurocodes and their recent development[J]. **Highway Engineering**, 2007, 32(10): 167—170.
- [7] 陈立宏. 欧洲岩土工程设计规范 Eurocode 简介[J]. 岩土工程学报, 2009, 30(1): 135—138.
- CHEN Li-hong. Introduction to geotechnical design code: Eurocode7[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2009, 30(1): 135—138.
- [8] ORR T L L. Progress toward harmonized geotechnical design in Europe[J]. **Geotechnical Special Publication**, 2006, 153: 59—66.
- [9] ORR T, ERIC R F. Geotechnical design to Eurocode7[M]. London: Springer, 1999.
- [10] 王桂林, 王靖, 王韵斌, 等. Eurocode7 直接法中极限状态 3 种分项系数组合的选择[J]. 建筑结构, 2011, 40(3): 84—87.
- WANG Gui-lin, WANG Jing, WANG Yun-bin, et al. Selection of different design approaches and related partial factors in ultimate limit state in Eurocode7[J]. **Building Structure**, 2011, 40(3): 84—87.
- [11] 李广信. 我国的岩土工程规范标准纵横谈[J]. 工程勘察, 2004, 31(1): 11—15.
- LI Guang-xin. The discussion on the codes and standards geotechnical engineering in China[J]. **Geotechnical Investigation & Surveying**, 2004, 31(1): 11—15.
- [12] 张在明. 我国岩土工程技术标准系列的特点和可能存在的问题[J]. 岩土工程界, 2003, 6(3): 20—25.
- ZHANG Zai-ming. The characteristics and problems of the standard series of geotechnical engineering in China[J]. **Geotechnical Engineering World**, 2003, 6(3): 20—25.
- [13] 高大钊. 对修订国标《岩土工程勘察规范》若干问题的思考[J]. 工程勘察, 2011, 38(8): 1—6.
- GAO Da-zhao. Pondering on issues for revising national standard “Code for investigation of geotechnical engineering”[J]. **Geotechnical Investigation & Surveying**, 2011, 38(8): 1—6.