

简支梁在冻融循环作用下抗剪承载力的分析

周 敏

(江苏省水文水资源勘测局无锡分局, 江苏 无锡 214026)

摘要: 本文主要针对试验梁在不同次数的冻融循环作用后进行静力加载试验, 观察其裂缝发展趋势及破坏形态, 研究冻融因素对开裂、极限荷载的影响, 并采用桁架-拱模型提出冻融循环作用下梁抗剪承载力计算公式。

关键词: 冻融循环; 钢筋混凝土梁; 抗剪承载力

中图分类号: TV41 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839(2017)06-0058-05

Analysis of shear bearing capacity of simply supported beam under freeze-thaw cycles

ZHOU Min

(Wuxi Hydrology and Water Resources Investigation Bureau of Jiangsu Province, Wuxi 214026, Jiangsu)

Abstract: In this paper, the test beam is tested by static load in freeze-thaw cycles of different times. The development trend of cracks and failure modes are observed. effect factors of freeze-thaw cracking and ultimate load are analyzed. beam shear capacity formula under freeze-thaw cycles are put forward by truss arch model.

Key words: freeze-thaw cycle; reinforced concrete beam; shear capacity

抗冻性是混凝土结构耐久性的主要性能之一, 在我国 35% 左右的混凝土水工建筑物工程因冻融剥蚀而破坏, 东北地区几乎达到 100%^[1]。由于冻融影响, 结构使用寿命远未达到设计年限, 且多是没有预兆的脆性破坏。冻融引起的耐久性不足影响着结构的安全, 造成社会资源的浪费, 是值得关注的重要问题。

目前, 国内外众多学者研究了冻融循环对混凝土材料性能的影响, 然而实际使用中, 混凝土构件都是处于冻融和荷载的共同作用。因此, 需要关注混凝土构件在冻融循环作用下的受力性能。考虑目前对冻融循环作用下混凝土构件的研究较少, 特别是梁的抗剪承载力的研究几乎为空白, 本文

通过试验观察、记录, 并分析冻融循环作用下钢筋混凝土简支梁的受剪性能, 推导建立抗剪承载力理论计算公式。

1 试验概况

为分析不同冻融循环程度的影响, 本次试验设定了 5 种冻融循环次数: 0、75、100、125、150 次, 试件具体参数见表 1。冻融循环按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法》(GB/T50082-2009) 中快冻法进行^[2]。达到设定冻融循环次数后, 对试验梁进行静载试验, 剪跨比为 2.1。分级加载过程中, 观测试验现象并记录开裂荷载和极限荷载。

收稿日期: 2017-02-06

作者简介: 周敏(1988-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事基础设施建设与管理工作。

表1 试验梁参数表

试件编号	数量	冻融次数	混凝土强度等级	上部纵筋	底部纵筋	箍筋
B-0	3	0	C30	2Φ10	2Φ12	Φ6.5@130
B-75	3	75	C30	2Φ10	2Φ12	Φ6.5@130
B-100	3	100	C30	2Φ10	2Φ12	Φ6.5@130
B-125	3	125	C30	2Φ10	2Φ12	Φ6.5@130
B-150	3	150	C30	2Φ10	2Φ12	Φ6.5@130

注: 试验梁的编号为 B-N, 其中 B—试验梁; N—冻融循环次数。

2 试验结果与分析

2.1 破坏过程

通过观察 15 根试验梁的加载试验, 可以发现不同冻融循环次数的试验梁破坏过程基本相同: 在经过弹性变形后, 纯弯段最先出现弯曲裂缝; 随着荷载的增加, 纯弯段裂缝发展并且在剪跨段也出现了弯裂缝; 继续加载, 纯弯段裂缝保持稳定, 剪跨段裂缝开始向加载点斜向延伸, 并且出现多条斜裂缝, 发展迅速; 最终在剪跨段出现 1~2 条主裂缝贯穿梁截面, 构件达到破坏。图 1 为 5 种不同冻融循环次数的试验梁加载破坏裂缝分布图。

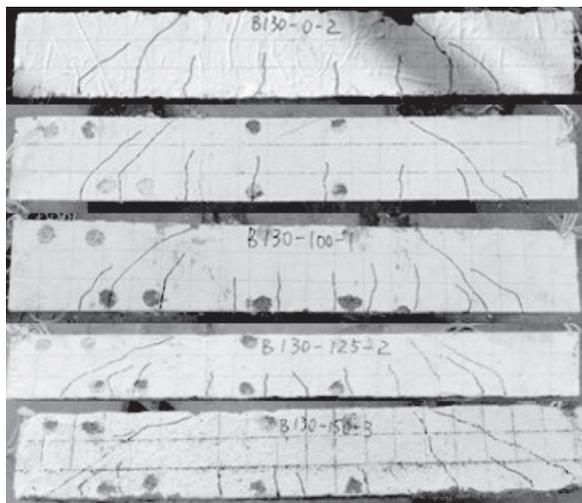


图1 试验梁加载破坏裂缝分布图

2.2 开裂荷载、极限荷载随冻融循环次数变化分析

冻融循环程度的增加, 使得开裂荷载、极限荷载随之下降, 特别是在 75 次循环之后, 下降趋势突然增大, 几乎为线性递减, 开裂荷载、极限荷载随冻融循环次数的变化曲线如图 2 所示。究其原因主要是冻融循环程度增加, 混凝土内部微裂缝不断发展, 使得混凝土抗拉性能以及与钢筋的

粘结性能大幅度下降。

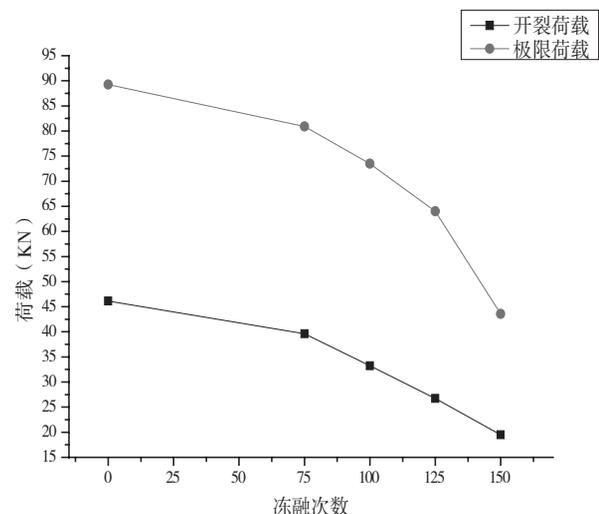


图2 试验梁开裂荷载、极限荷载随冻融次数变化曲线

3 抗剪承载力理论计算

由于影响梁斜截面受剪承载力的因素较多, 目前还没有提出统一的理论计算公式。本文针对冻融循环作用下有腹筋简支梁, 将抗剪承载力假设由桁架作用和拱作用叠加而成^[3]。

3.1 桁架作用

对于有腹筋梁, 根据文献^[4-5], 考虑混凝土、纵向钢筋和箍筋作用, 形成桁架模型 I 和桁架模型 II, 如图 3 所示。

(1) 桁架模型 I 中受剪承载力 V_1

图 3 中的桁架模型 I, 根据水平方向力的平衡, 上部混凝土压力等于下部纵筋拉力, 即:

$$C=T \quad (3-1)$$

式中:

C —加载点间混凝土水平压杆压力;

T —纵筋拉杆拉力。

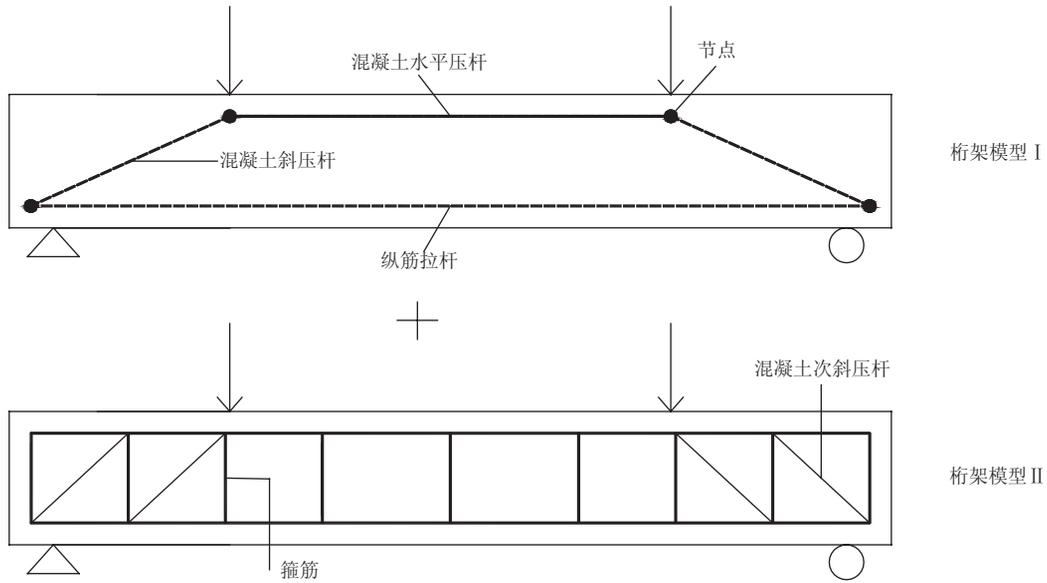


图3 桁架作用模型

节点 A 力的平衡见图 4:

$$V_1 = D \sin \theta \quad (3-2)$$

$$T = D \cos \theta = \frac{V_1}{\sin \theta} \cos \theta = V_1 \cot \theta \quad (3-3)$$

$$D = f_{cu, m} b h_w \quad (3-4)$$

式中:

- V_1 —桁架 I 受剪承载力;
- θ —斜压杆与拉杆之间的夹角;
- D —斜压杆压力。
- $f_{cu, m}$ —冻融后混凝土抗压强度;
- b —混凝土梁截面宽度;
- h_w —混凝土斜压杆截面高度。

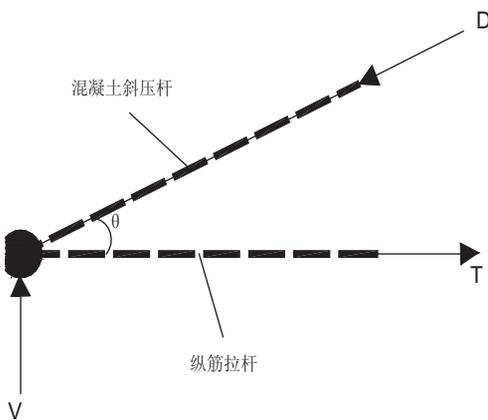


图4 节点 A 力平衡图

根据文献^[6], 斜压杆高度:

$$h_w = w_d \sin \theta + h_1 \cos \theta \quad (3-5)$$

式中:

- w_d —支座垫板宽度;
- h_1 —纵筋拉杆截面高度, $h_1 = 2(h - h_0)$, h 、 h_0 分别为梁截面高度、有效高度。

将公式(3-5)代入公式(3-4)得:

$$D = f_c b [w_d \sin \theta + 2(h - h_0) \cos \theta] \quad (3-6)$$

将公式(3-6)代入(3-2)得:

$$V_1 = f_c b [w_d \sin \theta + 2(h - h_0) \cos \theta] \sin \theta \quad (3-7)$$

公式(3-7)中斜压杆与拉杆之间的夹角 θ :

$$\sin \theta = (h_0 - 0.5h_s) / \alpha \quad (3-8)$$

式中:

- h_s —混凝土水平压杆截面高度;
- α —集中荷载至支座的水平距离。

根据文献^[7], 可知:

$$h_s = 0.4 \xi h_0 \quad (3-9)$$

式中:

ξ —纯弯段混凝土受压区高度, 取值为 $\xi =$

$$\sqrt{\left(\frac{E_s}{E_c} \rho\right)^2 + 2 \frac{E_s}{E_c} \rho - \frac{E_s}{E_c} \rho}, \text{ 其中: } E_s \text{ 为纵筋弹性模量; } E_c \text{ 为混凝土弹性模量; } \rho \text{ 为纵筋应变。}$$

(2) 桁架模型 II 中受剪承载力

由图 3 中的桁架模型 II 平衡可知:

$$V_2 = \frac{a}{s} A_{sv} \bar{\sigma}_{sv} = \frac{a}{s} n A_{sv1} \bar{\sigma}_{sv} \quad (3-10)$$

式中:

- a —剪跨段长度;

s —箍筋间距;
 A_{sv} —箍筋截面面积之和;
 n —箍筋肢数;
 A_{sv1} —单肢箍筋截面面积;
 $\bar{\sigma}_{sv}$ —箍筋平均拉应力。

根据文献^[6]:

$$\bar{\sigma}_{sv} = 0.25(\lambda - 0.5)f_{yv} \quad (3-11)$$

式中:

λ —剪跨比;
 f_{yv} —箍筋屈服强度。

将公式(3-11)代入式(3-10)得:

$$V_2 = 0.25 \frac{a}{s} n A_{sv1} (\lambda - 0.5) f_{yv} \quad (3-12)$$

综上所述, 桁架作用下梁的抗剪承载力为:

$$V_a = V_1 + V_2 = f_c b [w_d \sin \theta + 2(h - h_o) \cos \theta] \sin \theta + 0.25 \frac{a}{s} n A_{sv1} (\lambda - 0.5) f_{yv} \quad (3-13)$$

3.2 拱作用

根据文献^[8], 假定拱作用高度为 $h/2$, 混凝土压应力在作用高度内保持不变, 拱作用模型见图 5。

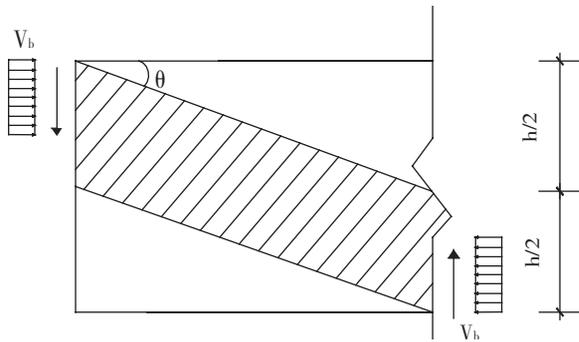


图 5 拱作用模型

由图可知:

$$V_b = f_{cu,m} \frac{bh}{2} \tan \theta \quad (3-14)$$

式中:

h —梁截面高度。

3.3 计算公式

冻融循环作用下梁抗剪承载力 V :

$$V = V_a + V_b = f_c b [w_d \sin \theta + 2(h - h_o) \cos \theta] \sin \theta + 0.25 \frac{a}{s} n A_{sv1} (\lambda - 0.5) f_{yv} + \frac{f_c b h}{2} \tan \theta \quad (3-15)$$

将本次 15 根试验梁的基本参数代入公式(3-15), 得出试验梁抗剪承载力计算值, 并与试验值进行对比, 具体见表 2。计算值与试验值之比的平均值为 0.91, 变异系数为 0.07。由此可见, 用公式计算所得数据与试验数据离散性较小, 公式具有一定的实用性。

4 结语

本文制作 15 根混凝土梁, 分别经历 5 次不同程度的冻融循环, 对其进行静载荷试验。通过观察加载过程中破坏现象, 记录试验梁开裂荷载、极限荷载并进行分析, 得到以下结论:

- (1) 不同程度的冻融循环, 梁的破坏过程几乎相同, 均为剪压破坏。
- (2) 试验梁的开裂荷载、极限荷载随着冻融循环次数的增加而下降, 特别是在 75 次之后, 下降程度大幅度增加。
- (3) 根据桁架-拱模型, 推导建立受冻融循环作用影响的实用公式, 并将计算结果与试验数据进行对比, 离散程度较小, 公式具有一定实用性。

表 2 试验梁受剪承载力理论计算值与试验值比较

构件编号	试验值				计算值				
	1	2	3	平均	1	2	3	平均	平均值
B130-0	89.11	89.11	89.54	89.25	86.52	78.12	86.52	86.52	0.97
B130-75	80.45	81.31	80.88	80.88	80.56	65.69	80.56	80.56	0.99
B130-100	73.2	73.2	74.07	73.49	67.41	60.51	67.41	67.41	0.92
B130-125	64.01	64.01	64.01	64.01	53.74	52.16	53.74	53.74	0.84
B130-150	43.2	43.89	43.63	43.57	35.51	32.58	35.51	35.51	0.82

参考文献:

- [1] 张海燕. 混凝土的抗冻融破坏试验研究[J]. 西北水资
源与水工程, 2001, (1):49-52.
- [2] GB50082-2009, 普通混凝土长期性能和耐久性能试验
方法标准[S].
- [3] 赵胜春. 钢筋混凝土抗剪计算模型[J]. 山西建筑,
2010(14):77-78.
- [4] 熊进刚, 付国平. 钢筋混凝土无腹筋短梁受剪承载力计
算的软化桁架模型[J]. 南昌大学学报, 2004(1):49-53.
- [5] ASCE-ACI Committee 445, Recent Approaches to Shear
Design of Structural Concrete[J]. Journal of Structural
Engineering, 1998:1357-1417.
- [6] 付国平, 熊进刚. 有腹筋钢筋混凝土短梁受剪承载力计
算的软化桁架模型[J]. 南昌大学学报, 2004(2):62-65.
- [7] Collins M P. Prestressed Concrete Structures[M]. Prentice-
Hall, Englewood Cliffs, N J, 1991.
- [8] 梁云达, 陈利华, 等. 桁架-拱模型理论分析钢筋混凝
土梁[J]. 山西建筑, 2010(9):53-54.

(责任编辑: 王宏伟)

